

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5909725号
(P5909725)

(45) 発行日 平成28年4月27日(2016.4.27)

(24) 登録日 平成28年4月8日(2016.4.8)

(51) Int. Cl.		F I		
B 2 1 C	51/00	(2006.01)	B 2 1 C	51/00 L
B 2 1 C	31/00	(2006.01)	B 2 1 C	31/00
G O 1 N	23/04	(2006.01)	G O 1 N	23/04

請求項の数 3 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-10016 (P2013-10016)	(73) 特許権者	591155242 鹿児島県 鹿児島県鹿児島市鴨池新町10番1号
(22) 出願日	平成25年1月23日(2013.1.23)	(74) 代理人	100081709 弁理士 鶴若 俊雄
(65) 公開番号	特開2014-140860 (P2014-140860A)	(72) 発明者	牟禮 雄二 鹿児島県霧島市隼人町小田1445番地1 鹿児島県工業技術センター内
(43) 公開日	平成26年8月7日(2014.8.7)	審査官	石黒 雄一
審査請求日	平成27年2月9日(2015.2.9)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

金属材料の変形特性を再現できるモデル材料と、材質が前記モデル材料の密度以下であるモデル型を使用して、所定形状の前記モデル材料の外周部のみに球体を埋め込む工程と、

前記モデル型に装填した前記モデル材料を最終ストロークまで止めることなく連続的に押出し加工する工程と、

前記押出し加工に同期して、視差を形成するX線とX線I . I . カメラにより撮像する工程と、

前記球体の3次元座標を一定時刻間隔で演算する工程と、

前記球体の移動軌跡と前記モデル型の形状データとを重ね合わせて表示する工程と、

前記球体の移動軌跡と前記モデル型の形状データとを重ね合わせて表示した結果に基づいてデッドゾーンの3次元形状を特定する工程とを有することを特徴とする押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法。

【請求項2】

金属材料の変形特性を再現できるモデル材料と透明なモデル型を使用して、前記モデル材料の外周部に球体を埋め込む工程と、

前記モデル型に装填した前記モデル材料を、止めることなく連続的に押出し加工する工程と、

前記押出し加工に同期して、前記球体が前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込み視

認不可となる直前の時点まで前記球体が移動する様子を、視差を形成する2方向から可視光下でビデオカメラにより撮像する工程と、

前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込み視認不可となる直前の時点の前記球体の3次元座標を演算して前記モデル材料の外周部におけるデッドゾーン高さを特定する工程と、

前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込む時点の前記球体の重心とダイス図心を通る断面において、前記断面とダイス上端面との交点を原点とし、前記原点からダイス上端面上の外周へ向かう方向をX軸の正方向、前記原点から加工方向とは逆方向をY軸の正方向と定義する座標系を定義し、前記原点および前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込む時点の座標を利用して数値解析的に下に凸なる二次曲線で近似する工程と、

全ての前記2次曲線と前記モデル型の形状データとを重ね合わせて表示した結果に基づいてデッドゾーンの3次元形状を特定する工程とを有することを特徴とする押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法。

【請求項3】

前記モデル材料の外周部に、加圧軸に対して垂直な少なくとも1つ以上の平面であり、前記平面の高さはデッドゾーン高さより高い位置に等間隔で放射状に少なくとも1つ以上埋め込むことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、アルミ合金等の金属製押出し加工品の加工時における曲がりの要因となる3次元デッドゾーン形状の特定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

軽量かつ強度と耐食性に優れ、再生性に富むアルミ合金製の押出し製品が、運輸機器（新幹線のボディ）や電子機器の構成部品及び建材（アルミサッシ）など広く利用されている。

【0003】

押出し加工は、図14に示すように、コンテナ100内の例えばアルミ合金等の円柱素材101をステム102で加圧し、コンテナ100の端部に設けた製品断面と同じダイス孔110aを持つダイス110から円柱素材101を塑性流動（塑性：加圧時に永久変形を生じる物質の性質）させる加工法である。

【0004】

一般的な型材押出し加工では、長尺の各種断面形状製品を押し出し方向に真っ直ぐに成形加工することが要求される。同時にアルミ合金の熱間押し出し加工では、加工品表層部に現れる表面再結晶（べび皮模様）の発生を抑える必要がある。

【0005】

押し出し加工では、ダイス110のダイス孔110aの各所における材料の不均一な流出速度が原因で、製品に曲がりやゆがみなど製品欠陥が発生する。発生原因は、図15に示すように、ダイス孔110aの出口付近の材料の流出速度差によるものであり、速度差の要因は、デッドゾーン（被加工材料の内部において、加工開始から加工終了まで材料が塑性流動せずに全く動かず滞留している領域）形状が左右非対称（起伏を有するため3次元的な形状となる）となり、図15に示すとおり、その高さとし押し出し方向軸に対する傾きが不均一なためである。

【0006】

流出速度を均一化するには、図14に示すように、一般にフローガイド120（塑性流動制御板、すなわち材料流出速度を促進または抑制する機能を果たす）を円柱素材101とダイス110間に設置するが、フローガイド120の設計は経験と勘に依存している。適正な塑性流動の制御機能を発揮するフローガイド120を設計するには、ダイス孔11

10

20

30

40

50

0 a の近傍における塑性流動を 3 次元的に可視化し、デッドゾーン形状を正確に把握し、材料の流出速度の不均一分布を高精度で計測しておく必要がある。また、表面再結晶は、押し出し加工過程の材料塑性流動と密接な関係があるため、ダイス孔 1 1 0 a 付近の速度ベクトルを高精度に把握しておく必要がある。

【 0 0 0 7 】

鍛造加工や押し出し加工等の金属の塑性加工においては、3次元的に変形する複雑形状部品の内部変形情報をモデル実験で可視化して、加工プロセス設計、金型設計又は加工欠陥対策等を評価・検討することを目的とする塑性加工の3次元実験シミュレーション方法及び装置に関するものがある(特許文献1)。このシミュレーション実験に用いるモデル材料として、粘土質材料でありながら加工中の各種金属材料の変形過程を再現できるモデル材料に関するものがある(特許文献2)。

【 0 0 0 8 】

また、金属の押し出し加工時のデッドゾーンの特定など3次元的な塑性流動を実験的に解明する研究(非特許文献1乃至非特許文献5)、押し出し加工の塑性流動を数学モデルのみで表現し、計算機で数値解析(有限要素法)的に解明する研究(非特許文献6乃至非特許文献8)など多くの試みが行われてきた。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特許第 4 7 7 1 3 3 8 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 9 - 1 9 7 0 9 1 号 公 報

【 非特許文献 1 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 4 1 巻第 4 7 6 号第 9 0 6 頁乃至第 9 1 0 頁

【 非特許文献 2 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 4 2 巻第 4 8 8 号第 9 5 4 頁乃至第 9 5 8 頁

【 非特許文献 3 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 4 1 巻第 4 7 6 号第 8 9 1 頁乃至第 8 9 5 頁

【 非特許文献 4 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 3 1 巻第 3 5 1 号第 5 0 2 頁乃至第 5 0 8 頁

【 非特許文献 5 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 3 7 巻第 4 2 8 号第 9 3 3 頁乃至第 9 3 8 頁

【 非特許文献 6 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 3 0 巻第 3 4 4 号第 1 2 6 7 頁乃至第 1 2 7 4 頁

【 非特許文献 7 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 3 0 巻第 3 4 2 号第 9 7 5 頁乃至第 9 8 1 頁

【 非特許文献 8 】 塑性と加工(日本塑性加工学会誌)第 3 1 巻第 3 4 9 号第 2 0 2 頁乃至第 2 0 7 頁

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

前述の実験的に解明する研究では、ダイス孔近傍の塑性流動を動的に(時々刻々と変化する様子を)3次元で可視化した例は無く、その上、モデル材料を用いた場合、塑性流動(内部変形量)を定量化する際、加工品を型から取り出す必要があるため加工品の取り扱い時に人的に変形させる(モデル材料は軟質であるため)こともあるので精度の観点から問題があった。また、実験時およびデータ解析時に膨大な手間と時間(数日)を要し、実用性に乏しかった。

【 0 0 1 1 】

一方、数値解析的に解明する研究では、3次元塑性流動の場合、数日から週単位の膨大な解析時間を要するため技術的検討の中断を余儀なくされる。また、特に3次元変形の場合、得られた解析結果を物理的に検証する術は無い。

【 0 0 1 2 】

この発明は、このような実情に鑑みてなされたもので、簡単な構成で、かつ確実にアルミ合金等の金属製押出し加工品の加工時における曲がりの要因となる3次元デッドゾーン形状の特定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

前記課題を解決し、かつ目的を達成するために、この発明は、以下のように構成した。

【 0 0 1 4 】

請求項1に記載の発明は、金属材料の変形特性を再現できるモデル材料と、材質が前記モデル材料の密度以下であるモデル型を使用して、所定形状の前記モデル材料の外周部のみに球体を埋め込む工程と、

前記モデル型に装填した前記モデル材料を最終ストロークまで止めることなく連続的に押出し加工する工程と、

前記押出し加工に同期して、視差を形成するX線とX線I・I・カメラにより撮像する工程と、

前記球体の3次元座標を一定時刻間隔で演算する工程と、

前記球体の移動軌跡と前記モデル型の形状データとを重ね合わせて表示する工程と、

前記球体の移動軌跡と前記モデル型の形状データとを重ね合わせて表示した結果に基づいてデッドゾーンの3次元形状を特定する工程とを有することを特徴とする押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法である。

【 0 0 1 5 】

請求項2に記載の発明は、金属材料の変形特性を再現できるモデル材料と透明なモデル型を使用して、前記モデル材料の外周部に球体を埋め込む工程と、

前記モデル型に装填した前記モデル材料を、止めることなく連続的に押出し加工する工程と、

前記押出し加工に同期して、前記球体が前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込み視認不可となる直前の時点まで前記球体が移動する様子を、視差を形成する2方向から可視光線でビデオカメラにより撮像する工程と、

前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込み視認不可となる直前の時点の前記球体の3次元座標を演算して前記モデル材料の外周部におけるデッドゾーン高さを特定する工程と

、
前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込む時点の前記球体の重心とダイス図心を通る断面において、前記断面とダイス上端面との交点を原点とし、前記原点からダイス上端面上の外周へ向かう方向をX軸の正方向、前記原点から加工方向とは逆方向をY軸の正方向と定義する座標系を定義し、前記原点および前記モデル材料の外周部から内部へ沈み込む時点の座標を利用して数値解析的に下に凸なる二次曲線で近似する工程と、

全ての前記2次曲線と前記モデル型の形状データとを重ね合わせて表示した結果に基づいてデッドゾーンの3次元形状を特定する工程とを有することを特徴とする押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法である。

【 0 0 1 6 】

請求項3に記載の発明は、前記モデル材料の外周部に、加圧軸に対して垂直な少なくとも1つ以上の平面であり、前記平面の高さはデッドゾーン高さより高い位置に等間隔で放射状に少なくとも1つ以上埋め込むことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法である。

10

20

30

40

【発明の効果】

【0017】

前記構成により、この発明は、以下のような効果を有する。

【0018】

この発明では、金属材料の塑性変形を高精度に再現可能な粘土質のモデル材料を用いて、球体を必要最小限の個数だけモデル材料の外周に埋め込み加工前の素材とし、押出し加工によるモデル材料の塑性流動に伴う球体の移動軌跡をステレオ構成にてX線撮影することで、押出し加工品の曲がりの要因となる3次元デッドゾーン形状を短時間で簡単かつ確実に特定することができる。また、球体がモデル材料の外周部からその内部へ沈み込み視認不可となるまでを可視光下でステレオ構成にてビデオカメラ撮影するだけで、ある断面のデッドゾーン形状を二次曲線で近似でき、全ての断面の二次曲線を3次元的に再構成することで、3次元デッドゾーン形状を短時間で簡単かつ確実に特定することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】押出し加工におけるX線I・I・カメラを用いた3次元デッドゾーン形状の特定方法の工程を説明する図である。

【図2】押出し加工におけるビデオカメラを用いた3次元デッドゾーン形状の特定方法の工程を説明する図である。

【図3】モデル材料の外周部に球体を埋め込んだ構造を示す図である。

【図4】3次元塑性流動可視化システムを示す図である。

20

【図5】金属材料の変形を再現できるモデル材料（特殊な粘土）と変形の相似性を説明する図である。

【図6】3次元可視化システムの構成を説明する写真である。

【図7】3次元可視化システムを説明する回路図である。

【図8】実験用モデル型の外観図である。

【図9】実験用モデル型の断面図である。

【図10】実験で使用したダイスを示す図である。

【図11】モデル実験・可視化結果を示す図である。

【図12】座標系とデッドゾーン高さを推定するための説明図である。

【図13】推定した二次曲線で表したデッドゾーンと実施例1との比較を示す図である。

30

【図14】押出し加工工具の構造を示す図である。

【図15】デッドゾーン及び製品欠陥を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、この発明の金属材料の押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法の実施の形態について説明する。この実施の形態は、この発明の好ましい形態を示すものであるが、この発明はこれに限定されない。

【0021】

[押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法1]

この実施の形態の押出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法は、図1に示すように、球体3を埋め込む工程A1、押出し加工する工程B1、撮像する工程C1、演算する工程D1、表示する工程E1、3次元デッドゾーン形状を特定する工程F1の手順で実施される。なお、工程B1と工程C1は、撮像しながら押出し加工（すなわち、同期して実施）する。

40

【0022】

球体3を埋め込む工程A1は、モデル型1を使用し、かつ金属材料の変形特性を再現できるモデル材料2を使用して、所定形状（図の場合は円柱）のモデル材料2の外表面に球体3を埋め込む工程である。この球体3を埋め込む工程A1において、球体3は、図3に示すように、円柱状のモデル材料2の外周部に、加圧軸に対して垂直な少なくとも1つの平面上（図の場合は2つの平面）に等間隔で放射状に少なくとも1つ以上埋め込む。なお

50

、加圧軸に対して垂直な平面の素材に対する高さ方向の位置は、外周部におけるデッドゾーン高さより高く設定する必要がある。外周部におけるデッドゾーン高さが不明な場合は、予備的なモデル実験として球体3を1個だけ円柱状のモデル材料2の高さ方向で中心部と上端部（ダイス110とは反対側）の間に埋め込み押し出し加工を実施すればよい。すなわち、球体3がモデル材料2の外周部から内部へ沈み込むので、その位置が外周部におけるデッドゾーン高さとなる。図3の場合は、加圧軸に対して垂直であり、加圧軸方向の高さが異なる2つの平面に球体3を埋め込んである。こうすることで真横からX線撮影した時の球体3同士の重なりを回避し、放射状に埋め込んだ全ての球体3の位置座標を特定できる。なお、モデル材料2への球体3の埋め込みは、軟質な粘土状モデル材料2に対して硬質な金属製球体3を予めマーキングした所定位置に指で球体3の直径分だけ押し込むことにより容易に実施できる。

【0023】

押し出し加工する工程B1は、モデル型1に装填したモデル材料2を最終ストロークまで止めることなく連続的に押し出し加工する工程である。この押し出し加工によって、モデル材料2の外周部のみに埋め込まれた必要最小限の個数の球体3が、モデル材料2の3次元的な塑性流動に伴い移動する。

【0024】

撮像する工程C1は、押し出し加工の非定常変形状態（加工開始から定常変形状体の前までであり、材料内部の変形領域が時々刻々と変化する過程）から定常変形状態（時間が経過しても材料内部の変形領域が変化しない過程）を経て球体3がダイス孔110aから流出するまでの球体3を、視差を形成する2方向からのX線と1台のX線I・I・カメラにより撮像する工程である。

【0025】

演算する工程D1は、球体3の3次元座標と速度ベクトルを一定時刻間隔で演算する工程である。

【0026】

表示する工程E1は、3次元座標での球体3の形状データあるいは速度ベクトルとモデル型1の形状データとを重ね合わせて表示する工程である。

【0027】

3次元デッドゾーン形状を特定する工程F1は、球体3の形状データとモデル型1の形状データとを重ね合わせて表示した結果に基づいて加圧軸を含む2次元断面を複数表示することで金型設計者等が認識しやすいようにデッドゾーンの3次元形状を特定する工程である。以上の工程A1からF1までに要する操作時間は1時間以内であり、他方法に比べて実用的である。

【0028】

[押し出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法2]

この実施の形態の押し出し加工における3次元デッドゾーン形状の特定方法は、図2に示すように、球体3を埋め込む工程A2、押し出し加工する工程B2、撮像する工程C2、球体の沈み込み時点の3次元座標を演算し、デッドゾーン高さを演算する工程D2、1つの断面のデッドゾーン形状を二次曲線で近似する工程E2、3次元デッドゾーン形状を特定する工程F2の手順で実施される。なお、工程B2と工程C2は、撮像しながら押し出し加工（すなわち、同期して実施）する。

【0029】

球体3を埋め込む工程A2は、透明なモデル型1を使用し、かつ金属材料の変形特性を再現できるモデル材料2を使用して、円柱のモデル材料2の外表面に球体3を埋め込む工程である。球体3を埋め込む工程A2は、図3に示す円柱状のモデル材料2の外周部に、加圧軸に対して垂直な1つの平面上のみに等間隔で放射状に少なくとも1つ以上埋め込む。なお、加圧軸に対して垂直な平面のダイス110上端面からの高さは、外周部におけるデッドゾーン高さより高く設定する必要がある。外周部におけるデッドゾーン高さが不明な場合は、段落[0022]に記載の手順に従って設定する。この実施の場合は、透明な

モデル型 1 を使用するのので、可視光下で外表面の球体 3 を追跡することができ、特定方法 1 の様に重なりを回避する必要はない。

【 0 0 3 0 】

押し出し加工する工程 B 2 は、モデル型 1 に装填したモデル材料 2 を途中で止めることなく連続的に押し出し加工する工程である。この押し出し加工によって、モデル材料 2 の外周のみに埋め込まれた必要最小限の個数の球体 3 が、モデル材料 2 の 3 次元の塑性流動に伴い移動する。

【 0 0 3 1 】

撮像する工程 C 2 は、押し出し加工開始からのモデル材料 2 の外周部から内部へ沈み込む（見えなくなる）時点までの球体 3 を、視差を形成する 2 方向からのビデオカメラ 1 9 により可視光下で撮像する工程である。なお、放射状に埋め込まれた球体 3 の内、モデル材料 2 の裏側にあり、見えない球体 3 については、回転台 1 1 を見える位置まで回転させ、複数回の押し出しモデル実験を繰り返せばよい。

【 0 0 3 2 】

デッドゾーン高さを演算する工程 D 2 は、塑性流動が進みモデル材料 2 の外周部から内部へ沈み込む（見えなくなる）時点の球体 3 の 3 次元座標を演算し、ダイス 1 1 0 の上端面からの距離を演算する工程である。この工程を全ての球体 3 について繰り返す。

【 0 0 3 3 】

1 つの断面のデッドゾーン形状を二次曲線で近似する工程 E 2 は、着目した 1 つの球体 3 について、モデル材料 2 の外周部から内部へ沈み込む時点の球体 3 の重心とダイス図心を通る断面において、その断面とダイス 1 1 0 上端面との交点を原点とし、原点からダイス 1 1 0 上端面上の外周へ向かう方向を X 軸の正方向、原点から加工方向とは逆方向を Y 軸の正方向とする座標系を定義し、座標が既知である原点とモデル材料 2 の外周部でのデッドゾーン高さを利用して数値解析的に下に凸なる 2 次曲線で近似する工程である。この工程を全ての球体 3 について繰り返す。

【 0 0 3 4 】

3 次元デッドゾーン形状を特定する工程 F 2 は、得られた全ての 2 次曲線とモデル型 1 の形状データとを重ね合わせて表示した結果に基づいて金型設計者等が認識しやすいようにデッドゾーンの 3 次元形状を特定する工程である。以上の A 2 から F 2 までに要する操作時間は 1 時間以内であり、他方法に比べて実用的である。

【 0 0 3 5 】

特定方法 1 および 2 のように、金属材料の塑性変形を高精度に再現可能なモデル材料 2 を用いて、モデル材料 2 の外周部に必要最小限の個数の球体 3 を埋め込み、モデル材料 2 の塑性流動に伴う球体 3 の移動軌跡を X 線撮影あるいは外周部に埋め込んだ球体 3 がモデル材料内部に沈み込むまでを可視光下でビデオ撮影することで、金属材料の押し出し加工品の押し出し時における曲がりの要因となる 3 次元デッドゾーン形状を短時間で簡単かつ確実に特定することができる。

【 0 0 3 6 】

この実施の形態の押し出し加工における 3 次元デッドゾーン形状のいずれの特定方法においても図 4 に示す 3 次元塑性流動可視化システムと、図 5 (a) に示す金属材料の変形を再現できるモデル材料（特殊な粘土）を用いたモデル実験を実施した。なお、図 5 (a)、(b) は、モデル材料とアルミ合金の変形の相似性を実証した結果である。変形模様が類似しており、モデル材料で金属材料の塑性変形特性を再現できることを示している。

【 0 0 3 7 】

図 4 に示す 3 次元塑性流動可視化システムは、X 線防御壁 1 0 で覆われた装置内に、回転台 1 1、押圧装置 1 2、X 線発生器 1 3、X 線 I . I . カメラ 1 4 又はビデオカメラ 1 9 が配置され、回転台 1 1 の上に樹脂製押し出しモデル型 1 を置き、押圧装置 1 2 によりモデル型 1 内の円柱形状のモデル材料 2 を加圧しながらモデル型 1 に X 線発生器 1 3 により X 線を照射し、X 線 I . I . カメラ 1 4 により撮影するか、あるいは透明なモデル型 1 をビデオカメラ 1 9 により撮影する構造である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

モデル実験では、モデル材料 2 の外表面に塑性流動を検知する球体 3 として金属（超硬合金）製微小球（直径 0.5 ~ 1.5 mm）を少なくとも 1 つ以上埋め込み、樹脂製押し出しモデル型 1 内で加圧すると、その塑性流動は球体 3 の移動軌跡として表される。ここで、同移動軌跡（3次元座標）は、特定方法 1 の場合は、照射時期を制御した X 線発生器 13（2台）と 1 台の X 線 I . I . カメラ 14 を用いた立体視撮影によって、特定方法 2 の場合は 2 台のビデオカメラ 19 を用いた立体視撮影によって 3次元で高精度に計測できる。

【 0 0 3 9 】

[実施例]

次に、押し出し加工における 3次元デッドゾーン形状の特定方法の実施例（2件）を説明する。

[実施例 1 - X 線 I . I . カメラを用いたデッドゾーン特定方法]

(可視化システム)

可視化システムの写真と模式図を、図 6 及び図 7 に示す。可視化システムは、ステレオ構成の X 線発生器 13（最大管電圧 100 kV、最大管電流 0.1 mA、X 線発生器間距離（視差間隔）120 mm）と X 線 I . I . カメラ 14（視野：112 mm × 86 mm）を相対して設置した。その他、押圧装置 12（最大加圧能力 9.8 kN）、360°回転と 3軸動作（上下 0 ~ 200 mm、X 線照射方向 0 ~ 150 mm、X 線照射軸直角方向 0 ~ 300 mm）が可能な回転台 11、制御装置 16、画像キャプチャーボード 15、表示部 17、PC 30 およびデータ処理ソフト（図示せず）で構成した。また、加工力とパンチ変位は、システムに組み込んだ計測器 18 により計測した。

【 0 0 4 0 】

可視化システムのシステム操作は、まず、PC 30 から制御装置 16 を制御して回転台 11 の位置と角度を調整し、次に、PC 30 から制御装置 16 へ押し出し加工の加圧量を入力した。次に、X 線発生器 13 と X 線 I . I . カメラ 14 の間に置いたモデル型 1 を用い、押圧装置 12 で加圧を開始した。ここで、加圧変形と同時に 2 台の X 線発生器 13 の ON と OFF を電子シャッターで NTSC（ビデオ）信号の 1 フレーム（1 / 30 秒）ごとに切り換えながら X 線を照射した。最後に、X 線 I . I . カメラ 14 で撮影された NTSC（ビデオ）信号を画像キャプチャーボード 15 経由で PC 30 に取り込む（記憶装置 31 に保存する）とともに表示部 17 に表示した。

【 0 0 4 1 】

その後、記憶装置 31 に保存したデータを X 線照射方向別に分別し、ステレオ画像（JPEG 形式、8 bit モノクロ、640 × 480 画素）として記憶装置 31 に再保存した。得られたステレオ画像から画像処理により連続フレームごとに球体 3 の 2次元（重心）位置座標を同定した。以上の時系列かつ X 線照射方向別の球体 3 の 2次元位置座標をもとに三角測量の原理で 3次元位置座標を算出すると、球体移動座標の実時間 3次元計測が可能となる。ここで、NTSC（ビデオ）信号のフレーム間の時刻間隔は既知であるため、球体 3 の速度ベクトルが算出可能となる。速度ベクトルが判明すると曲がりの要因である速度差の程度を把握できる。

【 0 0 4 2 】

(可視化実験に使用したモデル型)

図 8 は可視化実験に使用したモデル型 1 の外観図であり、図 9 はモデル型 1 の断面図である。モデル型 1 は、回転台 11 上に設置されたモデル型設置台 11a およびモデル型設置蓋 11b に取り付けられ、押圧装置 12（詳細図は省く）のプレスシリンダー 12a により押圧される。モデル型 1 は、コンテナ 21 内にダイスペース 22、ダイス 23 が配置され、フローガイド 24 を円柱形状のモデル材料 2 とダイス 23 間に設置し、モデル材料 2 を押圧プレート 25 を介して押圧する構造である。

【 0 0 4 3 】

モデル型 1 は、塑性変形量を追跡するための球体 3 の視認性を向上させるため X 線を透

10

20

30

40

50

過しやすい樹脂製とした。こうすることで、密度の大きい球体 3（黒い点として撮像される）が密度の小さい樹脂型（薄いグレーの背景として撮像される）の中にコントラスト良く X 線撮像されるため、球体 3 のみを追跡することが可能となる。なお、押圧装置 1 2 のプレスシリンダー 1 2 a と回転台 1 1 は金属製であるが、X 線 I . I . カメラ 1 4 の視野外であるため球体 3 の撮影には邪魔にならない。実験で押出されたモデル材料 2 は、下方のスライドベース 5 0 上を滑り、緩やかに曲げられて型外へ排出する構造となっている。モデル材料 2 は円柱であり、直径 5 0 mm , 高さ 5 0 mm とした。コンテナ 2 1 は、X 線の透過を容易にするために可能な限り薄く（肉厚 3 mm）した。

【 0 0 4 4 】

（ダイス孔形状）

モデル実験で使用したダイス 2 3 のダイス孔 2 3 a の形状を図 1 0 に示す。ダイス孔 2 3 a の形状は、実生産の押し出し加工において多く実施されている C 形（C - Channel）で、ダイス 2 3 は、厚さ 2 mm の円盤状プレートである。

【 0 0 4 5 】

（実験条件）

モデル材料 2 は、特許文献 2 に示す材料を用い、アルミ合金の熱間加工の塑性変形状態を再現できるように成分を調整した。モデル材料 2 による素材の作製は、真空土練機でモデル材料 2 を混練・脱気後、直径 5 0 mm , 高さ 5 0 mm の円柱状に押し出し成形した。次に、機械的性質を安定させるために恒温器内に 2 0 で 2 4 時間以上保持した。モデル材料 2 への球体 3 の埋め込みは、実験効率の向上、低コスト化、データ処理の迅速性および精度向上など様々な事情を考慮すると、埋め込み個数を最小限とすべきである。そこで実験に先立ち、以下の仮説を想定した。

【 0 0 4 6 】

< 仮説 >

「押し出し加工では、加圧の初期にデッドゾーンが形成され、塑性流動しない塊体となった 3 次元的なデッドゾーン上を材料が滑るように塑性流動する」と仮定した。

【 0 0 4 7 】

この仮説が真ならば、球体 3 をモデル材料 2 内部へは埋め込む必要がなく、外周部だけに埋め込むことで球体個数を最小限とすることができる。すなわち、外径部からダイス孔 2 3 a へ塑性流動する球体 3 の移動軌跡を撮影することで、デッドゾーンの 3 次元形状が特定できると考えた。

【 0 0 4 8 】

そこで、実験では図 3 に示すとおり、2 2 . 5 ° 間隔で 1 6 個の球体 3 を埋め込んだ。図 3 (a) はモデル材料 2 の正面図、図 3 (b) はモデル材料 2 の上面図、図 3 (c) はモデル材料 2 の斜視図である。全ての球体 3 を個別に視認し、時系列での軌跡を追跡するため、底面より 1 4 mm の位置に 8 個、1 2 mm の位置に 8 個の 2 段構造で埋め込んだ。モデル実験は、潤滑剤として石けん水を用い、加圧速度 0 . 3 mm / s で加圧量が 3 5 mm に達するまで途中で止めることなく連続的に加圧した。X 線は、管電圧 1 0 0 k V、管電流 0 . 1 mA とし、加圧の 1 秒前から X 線照射と撮影を開始し、加圧終了と同時に終了した。なお、この実験で球体 3 を埋め込まない場合との比較を実施し、球体 3 がモデル材料 2 の塑性流動を阻害することが無いことを確認した。なお、フローガイド 2 4 が無い場合、どの程度の曲がりが発生するかを見るために、この実験ではフローガイド 2 4 を設置していない。

【 0 0 4 9 】

[デッドゾーン特定結果]

モデル実験・可視化結果を図 1 1 に示す。図 1 1 (a) はデッドゾーン形状の 3 次元表示である。1 6 個の球体 3 を時系列（1 0 秒間隔）で表示するだけで球体 3 とダイス 2 3 間の空間で示されるデッドゾーン形状を特定することができた。すなわち、段落〔 0 0 4 6 〕の< 仮説 > は立証されたと言える。図 1 1 (b) は上面から見た (c) に対応する断面番号を示し、図 1 1 (c) は各断面におけるデッドゾーン形状を 2 次元表示したもので

10

20

30

40

50

ある。

【 0 0 5 0 】

C形 (C - Channel) は線対称であるため、断面 (1) 以外はデッドゾーン形状が対称となり、断面 (1) の非対称性が加工品の曲がりを生じさせる要因であることがわかった。なお、断面 (1) のデッドゾーン高さはそれぞれ 7 mm、8 mmであった。また、フローガイド 2 4 を用いない場合は、押し出し加工の初期曲がり角は 1 5 . 8 6 °であった。なお、加工品の曲がり角は、図 1 5 に示すとおり加圧軸と材料流出方向が成す角度として定義し、曲がり角と呼ぶ。

【 0 0 5 1 】

[実施例 2 - ビデオカメラを用いたデッドゾーン特定方法]
(可視化システム)

可視化システムは、X線発生器 1 3 と X線 I . I . カメラ 1 4 をビデオカメラ 1 9 に置き換えた以外は実施例 1 と同様である。なお、2台のビデオカメラ 1 9 の視差間隔は 1 2 0 mmとした。

【 0 0 5 2 】

可視化システムのシステム操作は段落 [0 0 4 0] と同様である。加圧変形と同時に 2 台のビデオカメラ 1 9 でモデル材料 2 の外周部に埋め込んだ球体 3 がモデル材料内部に沈み込むまでをビデオ撮影した。最後に、撮影した N T S C (ビデオ) 信号を画像キャプチャーボード 1 5 経由で P C 3 0 に取り込む (記憶装置 3 1 に保存する) とともに表示部 1 7 に表示した。

【 0 0 5 3 】

その後、記憶装置 3 1 に保存したステレオ画像 (J P E G 形式 , 8 b i t モノクロ , 6 4 0 × 4 8 0 画素) から画像処理により一定時刻間隔のフレームごとに球体 3 の 2 次元 (重心) 位置座標を同定した。以上の時系列かつ視差画像別の球体 3 の 2 次元位置座標をもとに三角測量の原理で 3 次元位置座標を算出した。

【 0 0 5 4 】

(可視化実験に使用したモデル型)

可視化実験に使用したモデル型は、実施例 1 と同様である。

【 0 0 5 5 】

モデル型 1 の内、コンテナ 2 1 は、塑性変形量を追跡するための球体 3 を可視光下でも視認できる様に透明な樹脂製とした。実験で押し出されたモデル材料 2 は、下方のスライドベース 5 0 上を滑り、緩やかに曲げられて型外へ排出する構造となっている。モデル材料 2 は円柱であり、直径 5 0 mm、高さ 5 0 mmとした。コンテナ 2 1 は、透明性を確保するために可能な限り薄く (肉厚 3 mm) した。

【 0 0 5 6 】

(ダイス孔形状)

モデル実験で使用したダイス 2 3 のダイス孔 2 3 a は、実施例 1 と同様である。

【 0 0 5 7 】

(実験条件)

モデル材料 2 の材質は実施例 1 と同様である。モデル材料 2 による素材の作製は、実施例 1 と同様である。モデル材料 2 への球体 3 の埋め込みは、実験効率の向上、低コスト化、データ処理の迅速性および精度向上など様々な事情を考慮すると、埋め込み個数を最小限とすべきである。そこで実験に先立ち、以下の仮説を想定した。

【 0 0 5 8 】

< 仮説 >

「押し出し加工が進むと共に、モデル材料 2 の外周部に埋め込んだ球体 3 が外周部を加圧方向に直線的に動き、その後、加圧の初期に形成されたデッドゾーン上に到達した時にモデル材料内部に沈み込み (可視光下のビデオカメラでは見えなくなる)、その後、デッドゾーンを二次曲線で近似した軌跡をたどり、ダイス孔 1 1 0 a に達し、流出する。」と仮定した。なお、二次曲線での近似は、実際の物理現象である実施例 1 の図 1 1 (C) のデッ

10

20

30

40

50

ドゾーン形状から判断しても妥当である。

【 0 0 5 9 】

[モデル実験について]

実験に使用したモデル材料 2 の形状と球体 3 の個数は実施例 1 と同様である。これらの球体 3 の中で、仮説を立証するために図 1 1 (b) に示す断面 (1) の右側 (デッドゾーン高さ 8 mm 側) に相当する 1 個の球体 3 のみをビデオ撮影してデータ処理した。モデル実験条件についても撮影方法以外は、実施例 1 と同様である。

【 0 0 6 0 】

[断面におけるデッドゾーン形状の推定方法]

モデル実験・可視化結果を図 1 2 に示す。図 1 2 (a) は、ダイス 1 1 0 の上端面図、
図 1 2 (b) は、外周部から内部への沈み込み時点の球体の重心とダイス図心を通る断面
を表示してある。沈み込み時点の球体の 3 次元座標を演算して外周部におけるデッドゾ
ン高さ H を特定したところ 8 mm であった。次に、断面とダイス上端面との交点を原点と
し、原点からダイス上端面上の外周へ向かう方向を X 軸の正方向、原点から加工方向とは
逆方向を Y 軸の正方向とする座標系を定義した。ここで、原点からモデル材料 2 の外周ま
での距離 (既知) を R とし、断面 (1) のデッドゾーン形状を二次曲線

$$Y = a X^2 + b X + C \quad \cdots \text{式 (1)}$$

で近似する。

ここで、 $(X, Y) = (0, 0)$ および $(X, Y) = (R, H)$ は既知であるので、 $X = 0$ 、 $Y = 0$ の時、式 (1) は、 $C = 0$ であるので式 (1) は

$$Y = a X^2 + b X \quad \cdots \text{式 (2)}$$

となる。 $X = R$ の時、 $Y = H$ であるから

$$H = a R^2 + b R \quad \cdots \text{式 (3)}$$

ここで、二次曲線は下に凸であるから $a > 0$ の条件で数値解析的に a 、 b を求めると二次曲線すなわち、ある断面におけるデッドゾーン形状を推定することができる。式 (3) の場合 $a = H / 2 R^2$ 、 $b = H / 2 R$ であり、次の式 (4) が求める二次曲線である。

$$Y = (H / 2 R^2) X^2 + (H / 2 R) X \quad \cdots \text{式 (4)}$$

図 1 3 に示すとおり、得られた二次曲線は実施例 1 の実測のデッドゾーン形状とほぼ一致している。すなわち、段落 [0 0 5 8] の < 仮説 > は立証されたと言える。

【 0 0 6 1 】

[3 次元デッドゾーン形状の推定方法]

以上の断面において二次曲線で近似したデッドゾーン形状をすべての球体 3 に対して適用し、推定した 2 次曲線とモデル型 1 の形状データとを重ね合わせて表示した結果に基づいてデッドゾーンの 3 次元形状を推定することができる。

【 0 0 6 2 】

このように、金属材料の塑性変形を高精度に再現可能なモデル材料を用いて、素材外周に必要最小限の個数の金属製球体を埋め込み、モデル材料の塑性流動に伴う球体の移動軌跡を撮影することで、押し出し加工品の曲がりの要因となる 3 次元デッドゾーン形状を簡単かつ確実に特定することができる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 6 3 】

この発明は、押し出し加工品の曲がりの要因となる 3 次元デッドゾーン形状の特定方法に適用され、簡単な構成で、かつ確実に押し出し加工品の曲がりの要因となる 3 次元デッドゾーン形状を定量化することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 4 】

- A 1 球体を埋め込む工程
- B 1 押し出し加工する工程
- C 1 撮像する工程
- D 1 演算する工程

10

20

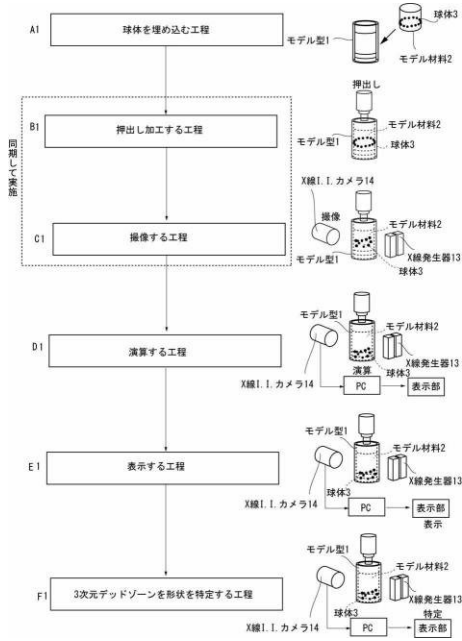
30

40

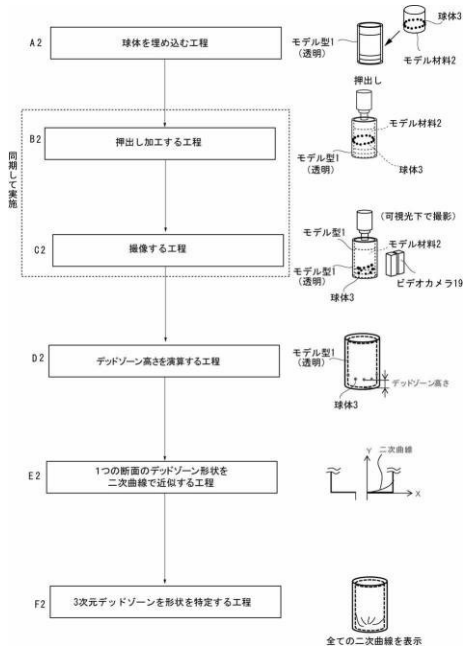
50

- E 1 表示する工程
- F 1 3次元デッドゾーン形状を特定する工程
- A 2 球体を埋め込む工程
- B 2 押出し加工する工程
- C 2 撮像する工程
- D 2 デッドゾーン高さを演算する工程
- E 2 1つの断面のデッドゾーン形状を二次曲線で近似する工程
- F 2 3次元デッドゾーン形状を特定する工程
- 1 モデル型
- 2 モデル材料 10
- 3 球体
- 1 0 X線防御壁
- 1 1 回転台
- 1 2 押圧装置
- 1 3 X線発生器
- 1 4 X線I . I .カメラ
- 1 5 画像キャプチャーボード
- 1 6 制御装置
- 1 7 表示部
- 1 8 計測器 20
- 1 9 ビデオカメラ
- 2 1 コンテナ
- 2 2 ダイススペース
- 2 3 ダイス
- 2 4 フローガイド
- 2 5 押圧プレート
- 3 0 P C
- 3 1 記憶装置

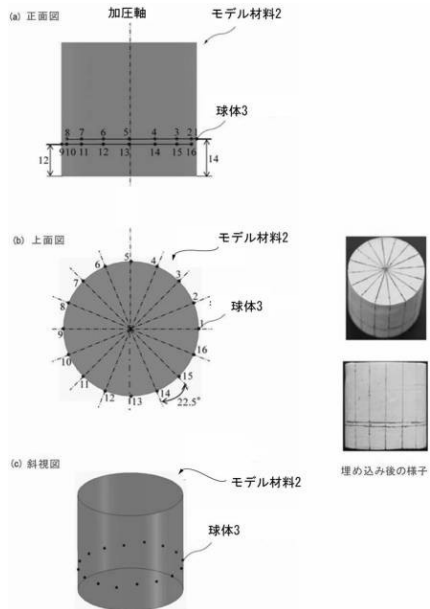
【図1】



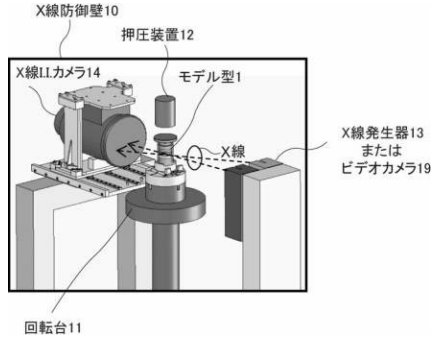
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

(a)

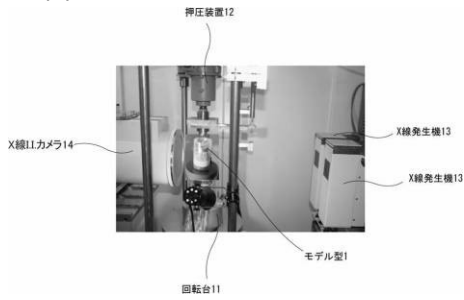


モデル材料

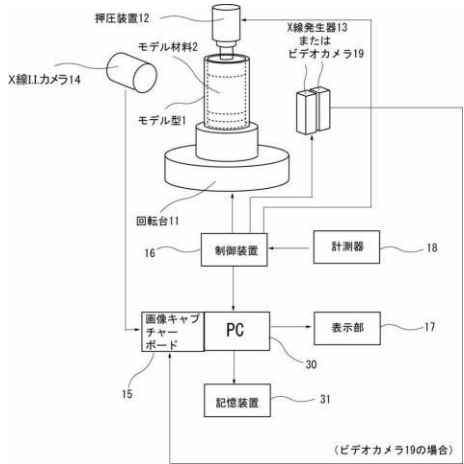
(b)



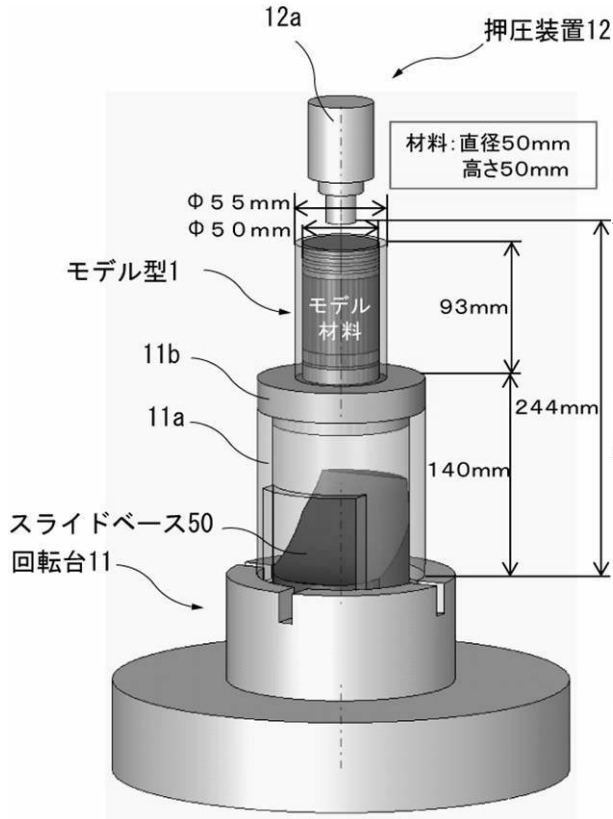
【図6】



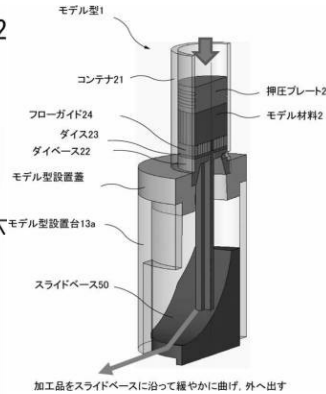
【図7】



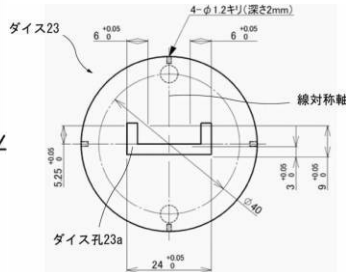
【図8】



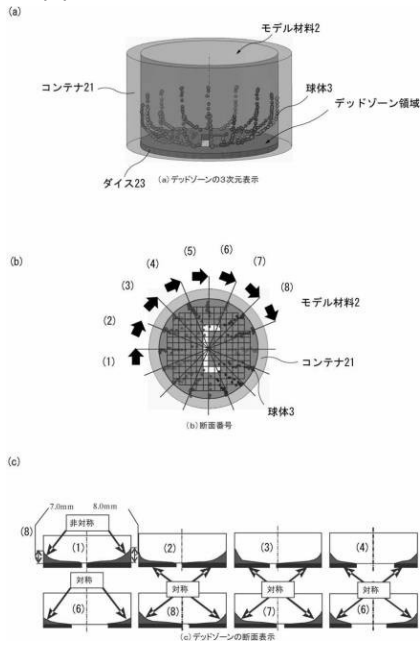
【図9】



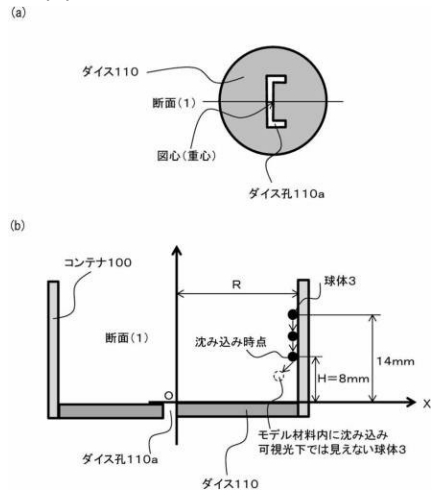
【図10】



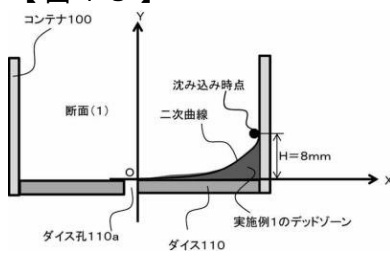
【図 1 1】



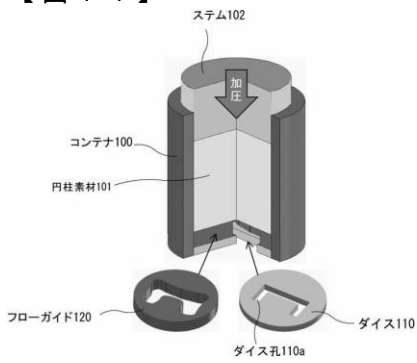
【図 1 2】



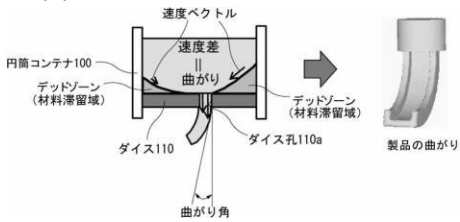
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特許第4771338(JP, B2)

特開2008-224293(JP, A)

特開2008-221249(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B21C 23/00 - 35/06

B21J 1/00 - 13/14

B21J 17/00 - 19/04

B21K 1/00 - 31/00

B21C 51/00

G01N 23/04