

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-224135

(P2006-224135A)

(43) 公開日 平成18年8月31日(2006.8.31)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 1 C 23/00 (2006.01)	B 2 1 C 23/00 Z	4 E 0 2 9
C 2 1 D 7/10 (2006.01)	C 2 1 D 7/10 Z	
C 2 2 F 1/04 (2006.01)	C 2 2 F 1/04 Z	
C 2 2 F 1/00 (2006.01)	C 2 2 F 1/00 6 0 4	
	C 2 2 F 1/00 6 8 5 Z	
	審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 18 頁)	

(21) 出願番号 特願2005-40539 (P2005-40539)  
 (22) 出願日 平成17年2月17日 (2005.2.17)

(71) 出願人 800000080  
 タマティーエルオー株式会社  
 東京都八王子市旭町9番1号 八王子スク  
 エアビル11階  
 (74) 代理人 100094053  
 弁理士 佐藤 隆久  
 (72) 発明者 丹羽 直毅  
 東京都新宿区西新宿1-24-2 工学院  
 大学内  
 (72) 発明者 一之瀬 和夫  
 東京都新宿区西新宿1-24-2 工学院  
 大学内  
 (72) 発明者 比留間 亮  
 東京都新宿区西新宿1-24-2 工学院  
 大学内

最終頁に続く

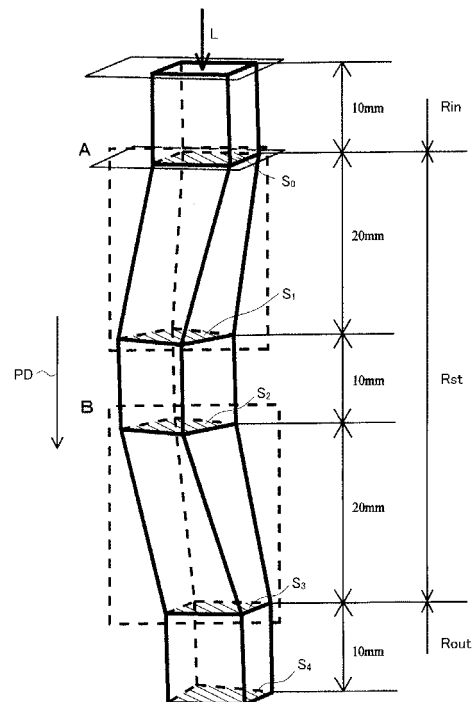
(54) 【発明の名称】 塑性加工装置及び塑性加工方法

(57) 【要約】

【課題】工業化が可能な簡便な方法で、高いひずみを効果的に導入できる塑性加工装置及び塑性加工方法を提供する。

【解決手段】被加工材料の結晶粒を分断及び細分化する目的でひずみを導入する塑性加工装置であって、ひずみ導入領域Rstを有する加工型と、荷重(L)印加手段とを有し、ひずみ導入領域は、所定の一方方向(加工方向PD)に延伸し、内側を被加工材料が通過するとき被加工材料にひずみを導入する領域であり、ひずみ導入領域の開始点における一方方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状、位置と異なる位置、または、形状及び位置と異なる形状及び位置の断面を有する部分がひずみ導入領域内に存在し、ひずみ導入領域内のいずれの位置においても断面の断面積が等しく形成されており、荷重印加手段はひずみ導入領域の内側を通過するように被加工材料に荷重を印加する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被加工材料の結晶粒を分断及び細分化する目的でひずみを導入する塑性加工装置であって、

所定の一方方向に延伸し、内側を前記被加工材料が通過するときに前記被加工材料にひずみを導入するひずみ導入領域を有する加工型と、

前記ひずみ導入領域の内側を通過するように前記被加工材料に荷重を印加する荷重印加手段と

を有し、

前記加工型は、

前記ひずみ導入領域の開始点における前記一方方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状、位置と異なる位置、または、形状及び位置と異なる形状及び位置の断面を有する部分が前記ひずみ導入領域内に存在し、

前記ひずみ導入領域内のいずれの位置においても前記断面の断面積が等しく形成されている

塑性加工装置。

## 【請求項 2】

前記ひずみ導入領域が、曲率が連続的に変化する曲面で構成される形状の部分を有する請求項 1 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 3】

前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が位置を変えながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分を有する

請求項 1 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 4】

前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が前記一方方向に延伸して前記同一の形状の中心を通る軸を回転軸として回転しながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分を有する

請求項 3 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 5】

前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が前記一方方向に延伸して前記同一の形状の中心を通る軸の位置を所定の軸ずらし方向にずらしながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分を有する

請求項 3 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 6】

前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の辺の方向である

請求項 5 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 7】

前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の角の方向である

請求項 5 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 8】

前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が前記一方方向に延伸して前記同一の形状の中心を通る軸を回転軸として回転し、前記軸の位置を所定の軸ずらし方向にずらしながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分を有する

請求項 3 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 9】

前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の辺の方向である

請求項 8 に記載の塑性加工装置。

## 【請求項 10】

前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の角の方向である

10

20

30

40

50

請求項 8 に記載の塑性加工装置。

【請求項 1 1】

前記ひずみ導入領域が、前記一方向に対して垂直な断面として形状が連続的に変化しながら前記一方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分をも有する

請求項 1 に記載の塑性加工装置。

【請求項 1 2】

前記ひずみ導入領域が、前記一方向に対して垂直な断面として一の形状のアスペクト比が連続的に変化しながら前記一方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分をも有する

請求項 1 1 に記載の塑性加工装置。

【請求項 1 3】

前記一の形状が矩形である

請求項 1 2 に記載の塑性加工装置。

【請求項 1 4】

前記一の形状が多角形である

請求項 1 2 に記載の塑性加工装置。

【請求項 1 5】

前記一の形状が円または楕円である

請求項 1 2 に記載の塑性加工装置。

【請求項 1 6】

被加工材料の結晶粒を分断及び細分化する目的でひずみを導入する塑性加工方法であって、

所定の一方方向に延伸し、内側を前記被加工材料が通過するとき前記被加工材料にひずみを導入するひずみ導入領域をも有する加工型であって、前記ひずみ導入領域の開始点における前記一方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状、位置と異なる位置、または、形状及び位置と異なる形状及び位置の断面をも有する部分が前記ひずみ導入領域内に存在し、前記ひずみ導入領域内のいずれの位置においても前記断面の断面積が等しく形成されている加工型の前記ひずみ導入領域の内側を、荷重を印加して前記被加工材料を前記一方向に通過させて、前記被加工材料にひずみを導入する

塑性加工方法。

【請求項 1 7】

前記一方向に往復して前記被加工材料を通過させて、前記被加工材料にひずみを導入する

請求項 1 6 に記載の塑性加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、塑性加工装置及び塑性加工方法に関し、特に高いひずみを効果的に導入することができる塑性加工装置及び塑性加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

各種産業分野において、機器や装置の高性能化に伴い、軽量で強度、靱性及び耐食性に優れた材料の開発が求められている。また、資源制約のある合金元素の依存度を極力低減し、希少資源の代替化及び節約を図ることも求められている。

【0003】

このような状況の下、合金化などの従来の方法に代わり、材料の内部構造や微細組織を制御して材料が持つ特性を極限まで向上させた新材料を開発しようとする試みが活発化している。その中で画期的な成果をあげているのが結晶粒微細化である。

【0004】

従来、強度と靱性は相反関係であったが、結晶粒微細化を行うことで延性及び靱性を損なうことなく強度を向上させることが可能になった。例えば、低炭素鋼に結晶粒微細化を

10

20

30

40

50

行うと延性を損なうことなく耐力及び引張強度を約2倍に増加させることができる。また、マグネシウム合金(AZ33)では、引張強度322MPa、0.2%耐力256MPa、伸び20%に達し、アルミニウム合金鍛造材の引張特性の規格値を大きく上回っている。さらに、汎用ステンレス鋼では、強度及び靱性ともに約2倍になる製造技術が開発されている。

#### 【0005】

結晶粒微細化とは、金属のような多結晶体の結晶粒を物理的な力や加熱処理を施すなどして、結晶の粒を分断、細分化することである。

結晶粒を微細化することによって、合金元素を添加せずに材料の持つ特性を極限まで向上させることが可能である。

#### 【0006】

結晶粒微細化を行う方法としては、強ひずみ加工法がある。強ひずみ加工法とは、通常の塑性加工では与えることのできない非常に大きなひずみを付与することにより、結晶粒を物理的に分断、細分化する方法である。代表的な強ひずみ加工法としては、ECAP(Equal-Channel Angular Pressing)法(例えば非特許文献1及び2参照)、HPT(High-Pressure Torsion)法(例えば非特許文献3参照)、及びARB(Accumulative Roll-Bonding)法(例えば非特許文献4参照)などが知られている。

#### 【0007】

現在様々な強ひずみ加工法により、材料の特性を飛躍的に向上させることができるという結果が研究室規模で得られているが、工業化が可能な強ひずみ加工法が求められている。

#### 【0008】

従って、結晶粒微細化法の中でも種々の強ひずみ加工法に着目し、既存のECAP法やHBT法の欠点を克服して工業化が可能な強ひずみ加工法を提供することが求められている。

【非特許文献1】Segal, V. M., Reznikov, V. I., Drobyshvsky, A. E. and Kopylov, V. I.: Russian Metallurgy, 1, p.99 (1981)

【非特許文献2】Valiev, R. Z., Krasilnikov, N. A. and Tsenev, N. K.: Mater. Sci. Eng. A, 137, p.35 (1991)

【非特許文献3】Smirnova, N. A., Levit, V. I., Pilyugin, V. I., Kuznetsov, R. I., Davydova, L. S. and Sazonova, V. A.: Fiz. Met. Metalloved., 61, p.1170 (1986)

【非特許文献4】斎藤好弘、宇都宮裕、辻伸泰、左海哲夫、洪仁国：日本金属学会誌、63、p.790(1999)

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0009】

解決しようとする問題点は、工業化が可能な簡便な方法で、高いひずみを効果的に導入することが困難であるということである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0010】

上記の課題を解決するため、本発明の塑性加工装置は、被加工材料の結晶粒を分断及び細分化する目的でひずみを導入する塑性加工装置であって、所定の一方向に延伸し、内側を前記被加工材料が通過するときに前記被加工材料にひずみを導入するひずみ導入領域を有する加工型と、前記ひずみ導入領域の内側を通過するように前記被加工材料に荷重を印加する荷重印加手段とを有し、前記加工型は、前記ひずみ導入領域の開始点における前記一方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状、位置と異なる位置、または、形状及び位置と異なる形状及び位置の断面を有する部分が前記ひずみ導入領域内に存在し、前記ひずみ導入領域内のいずれの位置においても前記断面の断面積が等しく形成されている。

#### 【0011】

上記の本発明の塑性加工装置は、被加工材料の結晶粒を分断及び細分化する目的でひず

10

20

30

40

50

みを導入する塑性加工装置であって、ひずみ導入領域を有する加工型と、荷重印加手段とを有する。

ひずみ導入領域は、所定の一方方向に延伸し、内側を被加工材料が通過するときに被加工材料にひずみを導入する領域であり、ひずみ導入領域の開始点における一方方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状、位置と異なる位置、または、形状及び位置と異なる形状及び位置の断面を有する部分がひずみ導入領域内に存在し、ひずみ導入領域内のいずれの位置においても上記の一方方向に対して垂直な断面の断面積が等しく形成されている。

また、荷重印加手段はひずみ導入領域の内側を通過するように被加工材料に荷重を印加する。

【0012】

上記の本発明の塑性加工装置は、好適には、前記ひずみ導入領域が、曲率が連続的に変化する曲面で構成される形状の部分有する。

【0013】

上記の本発明の塑性加工装置は、好適には、前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が位置を変えながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分有する。

【0014】

さらに、好適には、前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が前記一方方向に延伸して前記同一の形状の中心を通る軸を回転軸として回転しながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分有する。

またさらに好適には、前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が前記一方方向に延伸して前記同一の形状の中心を通る軸の位置を所定の軸ずらし方向にずらしながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分有し、さらに好適には、前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の辺の方向であり、あるいはさらに好適には、前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の角の方向である。

あるいはさらに好適には、前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として同一の形状が前記一方方向に延伸して前記同一の形状の中心を通る軸を回転軸として回転し、前記軸の位置を所定の軸ずらし方向にずらしながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分有し、さらに好適には、前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の辺の方向であり、あるいはさらに好適には、前記同一の形状が矩形であり、前記軸ずらし方向が前記矩形の角の方向である。

【0015】

上記の本発明の塑性加工装置は、好適には、前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として形状が連続的に変化しながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分有する。

さらに好適には、前記ひずみ導入領域が、前記一方方向に対して垂直な断面として一の形状のアスペクト比が連続的に変化しながら前記一方方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分有し、またさらに好適には、前記一の形状が矩形、多角形、円または楕円である。

【0016】

上記の課題を解決するため、本発明の塑性加工方法は、被加工材料の結晶粒を分断及び細分化する目的でひずみを導入する塑性加工方法であって、所定の一方方向に延伸し、内側を前記被加工材料が通過するときに前記被加工材料にひずみを導入するひずみ導入領域を有する加工型であって、前記ひずみ導入領域の開始点における前記一方方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状、位置と異なる位置、または、形状及び位置と異なる形状及び位置の断面を有する部分が前記ひずみ導入領域内に存在し、前記ひずみ導入領域内のいずれの位置においても前記断面の断面積が等しく形成されている加工型の前記ひずみ導入領域の内側を、荷重を印加して前記被加工材料を前記一方方向に通過させて、前記被加工材料にひずみを導入する。

10

20

30

40

50

## 【0017】

上記の本発明の塑性加工方法は、好適には、前記一方向に往復して前記被加工材料を通過させて、前記被加工材料にひずみを導入する。

## 【発明の効果】

## 【0018】

本発明の塑性加工装置によれば、簡単な構成の加工型を備えた装置であるので容易に工業化が可能であり、さらに高いひずみを効果的に導入することができる。

## 【0019】

また、本発明の塑性加工方法によれば、簡単な構成の加工型を用いており、容易に工業化が可能な簡便な方法で、高いひずみを効果的に導入することができる。

10

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0020】

以下に、本発明に係る塑性加工装置及びそれを用いた塑性加工方法の実施の形態について、図面を参照して説明する。

## 【0021】

第1実施形態

図1は、本実施形態に係る塑性加工装置の加工型の模式斜視図である。

加工型は、所定の一方方向である加工方向PDに延伸し、内側を被加工材料が通過するときに被加工材料にひずみを導入するひずみ導入領域Rstと、ひずみ導入領域Rstに被加工材料を誘導する誘導部Rinと、ひずみ導入領域Rstを通過してひずみが導入された被加工材料を取り出す取出し部Routとを有する。

20

## 【0022】

ひずみ導入領域Rstは、2つの小領域A、Bとそれらを接続する領域から構成される。

図2(a)は、小領域Aの開始点における加工方向PDに垂直な断面S<sub>0</sub>と、終了点における断面S<sub>1</sub>との相対的な位置関係を示す模式図であり、また、図2(b)は、小領域Bの開始点における加工方向PDに垂直な断面S<sub>2</sub>と、終了点における断面S<sub>3</sub>との相対的な位置関係を示す模式図である。

開始点の断面と終了点の断面との相対位置が図示の関係であることから、小領域A、Bはそれぞれ、一方方向である加工方向PDに対して垂直な断面として、1辺が10mmの正方形である同一の形状が、加工方向PDに延伸して上述の正方形形状の中心を通る軸を回転軸として例えば20°回転し、軸の位置を正方形形状の辺の方向である所定の軸ずらし方向にずらしながら、加工方向PDに移動したときの軌跡で表される形状となっている。

30

ここで、小領域Bは、小領域Aにおける回転と軸のずれ分をもとに戻すように逆向きにしており、小領域AとBを経てもとの位置に戻っていることを示している。

小領域A、Bの加工方向PDの長さは、例えば20mmであり、小領域A、Bを接続する接続部や、誘導部Rin及び取出し部Routの長さは、例えば10mmである。

## 【0023】

上記のようにして、本実施形態の塑性加工装置の加工型は、ひずみ導入領域の開始点における一方方向に対して垂直な断面の位置と異なる位置の断面を有する部分がひずみ導入領域内に存在し、ひずみ導入領域内のいずれの位置においても上記の一方方向に対して垂直な断面の断面積が等しく形成されている。

40

## 【0024】

上記の実施形態の塑性加工装置を用いて、誘導部Rinに例えば10mm<sup>3</sup>の体積の被加工材料を投入し、荷重印加手段により加工方向への荷重Lを印加することで、被加工材料を加工型の内側を通過させ、これによって被加工材料にひずみを導入することができる。このとき、被加工材料には、材料自身を支持するために、加工方向と反対側に作用する力も印加され、一定速度で被加工材料が加工型の内側を通過するようにする。

このとき、好ましくは、一方方向に往復して被加工材料を通過させて、被加工材料にひずみを導入する。一方方向に往復させる簡単な動作で高い均一なひずみを導入することができる。

50

## 【0025】

本実施形態の塑性加工装置は、簡単な構成の加工型を備えた装置であるので容易に工業化が可能であり、高いひずみを効果的に導入することができる。

また、本実施形態の塑性加工方法は、簡単な構成の加工型を用いており、容易に工業化が可能で、高いひずみを効果的に導入することができる。

## 【0026】

本実施形態の加工型において、小領域A、Bの開始点から終了点までの間の型の形状は、平面や曲率が変化しない曲面などで構成されてもよいが、曲率が連続的に変化する曲面で構成される形状の部分をも有することが好ましい。これにより、より効率的にひずみを導入することができる。

10

## 【0027】

(実施例1)

図1及び図2に示す構成の加工型を有する塑性加工装置を、解析ソフト(MSC:superform)を使用してシミュレーション上で構築し、被加工材料を通してひずみを導入したときに被加工材料に加工方向にかけられた荷重の値と、被加工材料に導入された相当ひずみの値をシミュレーションにより算出した。ここで、使用する被加工材料は、アルミニウム-マグネシウム合金(5056合金)とし、10mm×10mm×10mmの大きさとした。

荷重とひずみは、ストロークに対してプロットした。ここで、各ストロークの値は、図1における各部の長さの総和に相当する。即ち、ひずみ導入領域の開始点 $S_0$ を基準位置(ストローク0mm)とし、加工方向へ荷重がかけられて被加工材料の先端面が至らされた位置をストローク数として示している。即ち、小領域Aの終了点に至ったところがストローク20mm、小領域Bの開始点に至ったところがストローク30mm、小領域Bの終了点に至ったところがストローク50mm、被加工材料全体がひずみ導入領域Rstから取り出されたところがストローク60mmとなる。

20

## 【0028】

図3は、荷重の値をストロークに対してプロットした図である。

荷重は40~80kN程度の範囲で推移し、妥当な値が得られた。

## 【0029】

図4(a)~(f)は、それぞれ、ストロークが10mm、20mm、30mm、40mm、50mm、60mmのときに導入された相当ひずみの値を等ひずみ線で示したものである。

30

被加工材料全体が小領域Aを通過したところであるストローク30mmでは0.6程度の相当ひずみが導入され、さらに小領域A、Bを含むひずみ導入領域から取り出されたところであるストローク60mmでは1.7程度の高い相当ひずみが均一に導入されることがわかった。

## 【0030】

図5は、被加工材料上の3点(中央部( )、外周近傍部( )、それらの中間( ))における相当ひずみの値をストロークの値に対してプロットした図であり、3点において似たような相当ひずみの変化を示し、60mmのストロークにおいて最終的に導入された相当ひずみが1.7程度となったことがわかった。

40

## 【0031】

## 第2実施形態

図6は、本実施形態に係る塑性加工装置の加工型の模式斜視図である。

加工型は、第1実施形態と同様に、所定の一方方向である加工方向PDに延伸し、内側を被加工材料が通過するとき被加工材料にひずみを導入するひずみ導入領域Rstと、ひずみ導入領域Rstに被加工材料を誘導する誘導部Rinと、ひずみ導入領域Rstを通過してひずみが導入された被加工材料を取り出す取出し部Routとを有する。

## 【0032】

ひずみ導入領域Rstは、4つの小領域A、B、C、Dとそれらを接続する領域から構成

50

される。

図7(a)は、小領域Aの開始点における加工方向PDに垂直な断面と、終了点における断面との相対的な位置関係を示す模式図であり、また、図7(b)は、小領域Bの開始点における加工方向PDに垂直な断面と、終了点における断面との相対的な位置関係を示す模式図であり、第1実施形態の小領域A, Bと実質的に同様の構成となっている。

図7(c)は、小領域Cの開始点における加工方向PDに垂直な断面と、終了点における断面との相対的な位置関係を示す模式図であり、また、図7(d)は、小領域Dの開始点における加工方向PDに垂直な断面と、終了点における断面との相対的な位置関係を示す模式図であり、小領域A, Bと同様であるが、軸のずれる方向が小領域A, Bとは逆の関係となっている。

小領域A, B, C, Dはそれぞれ、一方向である加工方向PDに対して垂直な断面として、1辺が10mmの正方形である同一の形状が、加工方向PDに延伸して上述の正方形形状の中心を通る軸を回転軸として例えば20°回転し、軸の位置を正方形形状の辺の方向である所定の軸ずらし方向にずらしながら、加工方向PDに移動したときの軌跡で表される形状となっている。小領域A, B, C, Dの加工方向PDの長さは、例えば20mmであり、小領域A, B, C, Dをそれぞれ接続する接続部や、誘導部Rin及び取出し部Routの長さは、例えば10mmである。

従って、本実施形態の加工型は、第1実施形態の加工型を2つ直列に、軸のずらす方向を180°ずらして、接続した構成となっている。

#### 【0033】

上記のようにして、本実施形態の塑性加工装置の加工型は、ひずみ導入領域の開始点における一方向に対して垂直な断面の位置と異なる位置の断面を有する部分がひずみ導入領域内に存在し、ひずみ導入領域内のいずれの位置においても上記の一方向に対して垂直な断面の断面積が等しく形成されている。

#### 【0034】

上記の実施形態の塑性加工装置を用いて、誘導部Rinに例えば $10\text{mm}^3$ の体積の被加工材料を投入し、荷重印加手段により加工方向への荷重Lを印加することで、被加工材料を加工型の内側を通過させ、これによって被加工材料にひずみを導入することができる。このとき、被加工材料には、材料自身を支持するために、加工方向と反対側に作用する力も印加され、一定速度で被加工材料が加工型の内側を通過するようにする。

このとき、好ましくは、一方向に往復して被加工材料を通過させて、被加工材料にひずみを導入する。一方向に往復させる簡単な動作で高い均一なひずみを導入することができる。

#### 【0035】

本実施形態の塑性加工装置は、簡単な構成の加工型を備えた装置であるので容易に工業化が可能であり、高いひずみを効果的に導入することができる。

また、本実施形態の塑性加工方法は、簡単な構成の加工型を用いており、容易に工業化可能な簡便な方法で、高いひずみを効果的に導入することができる。

#### 【0036】

本実施形態の加工型において、小領域A, B, C, Dの開始点から終了点までの間の型の形状は、平面や曲率が変化しない曲面などで構成されてもよいが、曲率が連続的に変化する曲面で構成される形状の部分を有することが好ましい。これにより、より効率的にひずみを導入することができる。

#### 【0037】

(実施例2)

図6及び図7に示す構成の加工型を有する塑性加工装置を、解析ソフト(MSC, superform)を使用してシミュレーション上で構築し、被加工材料を通してひずみを導入したときに被加工材料に加工方向にかけられた荷重の値と、被加工材料に導入された相当ひずみの値をシミュレーションにより算出した。ここで、使用する被加工材料は、アルミニウム-マグネシウム合金(5056合金)とし、 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の

10

20

30

40

50



大きさとした。

各ストロークの値は、図 6 における各部の長さの総和に相当する。

【 0 0 3 8 】

図 8 は、荷重の値をストロークに対してプロットした図である。

荷重は 4 0 ~ 8 0 k N 程度の範囲で推移し、妥当な値が得られた。

【 0 0 3 9 】

図 9 ( a ) ~ ( f ) は、それぞれ、ストロークが 7 0 m m、8 0 m m、9 0 m m、1 0 0 m m、1 1 0 m m、1 2 0 m m のときに導入された相当ひずみの値を等ひずみ線で示したものである。なお、ストロークが 1 0 m m ~ 6 0 m m のときの相当ひずみの値は、第 1 実施形態の図 4 と同様の結果となる。

10

被加工材料全体が小領域 A , B , C を通過したところであるストローク 9 0 m m では 2 . 4 程度の相当ひずみが導入され、さらに小領域 A ~ D を含むひずみ導入領域から取り出されたところであるストローク 1 2 0 m m では 3 . 5 程度の高い相当ひずみが均一に導入されることがわかった。

【 0 0 4 0 】

図 1 0 は、被加工材料上の 3 点 ( 中央部 ( )、外周近傍部 ( )、それらの中間 ( ) ) における相当ひずみの値をストロークの値に対してプロットした図であり、3 点において似たような相当ひずみの変化を示す、1 2 0 m m のストロークにおいて最終的に導入された相当ひずみが 3 . 5 程度となったことがわかった。

【 0 0 4 1 】

20

上記の第 1 及び第 2 実施形態において、ひずみ導入領域が、一方向に対して垂直な断面として同一の形状が一方向に延伸して同一の形状の中心を通る軸を回転軸として回転しながら一方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分をも有する構成としてもよい。この場合、上記の実施形態のように同一の形状は矩形やその他の形状としてもよい。

また、ひずみ導入領域が、一方向に対して垂直な断面として同一の形状が一方向に延伸して同一の形状の中心を通る軸の位置を所定の軸ずらし方向にずらしながら一方向に移動したときの軌跡で表される形状としてもよい。この場合、上記の実施形態のように同一の形状が矩形であり、軸ずらし方向が矩形の辺の方向、角の方向、あるいはその他のいずれの方向とすることも可能であり、また、上記の同一の形状としては矩形以外の形状としてもよい。

30

あるいは、ひずみ導入領域が、一方向に対して垂直な断面として同一の形状が一方向に延伸して同一の形状の中心を通る軸を回転軸として回転し、軸の位置を所定の軸ずらし方向にずらしながら一方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分をも有し、ここで、上記の同一の形状が矩形であり、軸ずらし方向が矩形の角の方向など、辺の方向以外のいずれの方向としてもよい。また、上記の同一の形状としては矩形以外の形状としてもよい。

上記のように、ひずみ導入領域が、一方向に対して垂直な断面として同一の形状が位置を変えながら一方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分をも有する構成とすることで、被加工材料にひずみを導入できる加工型を構成できる。

【 0 0 4 2 】

また、上記の第 1 及び第 2 実施形態において、一方向に対して垂直な断面として同一の形状が一方向に延伸して同一の形状の中心を通る軸を回転軸として回転しながら一方向に移動したときの軌跡で表される形状とするとき、回転する角度は上記のように 2 0 ° に限らず、所望のいずれの角度で回転させることも可能である。

40

【 0 0 4 3 】

第 3 実施形態

図 1 1 は、本実施形態に係る塑性加工装置の加工型の模式斜視図である。

加工型は、第 1 実施形態と同様に、所定の一方方向である加工方向 P D に延伸し、内側を被加工材料が通過するときに被加工材料にひずみを導入するひずみ導入領域 R st と、ひずみ導入領域 R st に被加工材料を誘導する誘導部 R in と、ひずみ導入領域 R st を通過してひずみが導入された被加工材料を取り出す取出し部 R out とを有する。

50

## 【 0 0 4 4 】

ひずみ導入領域  $R_{st}$  は、加工方向  $P D$ （一方向）に対して垂直な断面として形状が連続的に変化しながら加工方向  $P D$  に移動したときの軌跡で表される形状の部分をも有し、例えば、加工方向  $P D$  に対して垂直な断面として矩形形状のアスペクト比が連続的に変化しながら加工方向  $P D$  に移動したときの軌跡で表される形状の部分をも有するものである。加工方向  $P D$  に対して垂直な断面としては、矩形形状のほか、多角形状、円形状あるいは楕円形状など、どのような形状としてもよい。

## 【 0 0 4 5 】

ひずみ導入領域  $R_{st}$  は、2つの小領域  $A$ 、 $B$  とそれらを接続する領域から構成される。

図 11 は、小領域  $A$  の開始点における加工方向  $P D$  に垂直な断面  $S_0$  と、終了点における断面  $S_1$  との間で、矩形形状のアスペクト比が連続的に変化していることを示し、また、小領域  $B$  は、断面  $S_1$  と同一の形状である開始点の断面  $S_2$  と、断面  $S_0$  と同一の形状である終了点の断面  $S_3$  との間で、矩形形状のアスペクト比が連続的に変化していることを示す。

10

但し、ひずみ導入領域内のいずれの位置においても一方向に対して垂直な断面  $S$  の断面積が等しくなるように、上記のようにアスペクト比が変化しているものである。

## 【 0 0 4 6 】

上記のようにして、本実施形態の塑性加工装置の加工型は、ひずみ導入領域の開始点における一方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状の断面をも有する部分がひずみ導入領域内に存在し、ひずみ導入領域内のいずれの位置においても断面の断面積が等しく形成されている。

20

## 【 0 0 4 7 】

上記の実施形態の塑性加工装置を用いて、誘導部  $R_{in}$  に被加工材料を投入し、荷重印加手段により加工方向への荷重  $L$  を印加することで、被加工材料を加工型の内側を通過させ、これによって被加工材料にひずみを導入することができる。このとき、被加工材料には、材料自身を支持するために、加工方向と反対側に作用する力も印加され、一定速度で被加工材料が加工型の内側を通過するようにする。

このとき、好ましくは、一方向に往復して被加工材料を通過させて、被加工材料にひずみを導入する。一方向に往復させる簡単な動作で高い均一なひずみを導入することができる。

30

## 【 0 0 4 8 】

本実施形態の塑性加工装置は、簡単な構成の加工型を備えた装置であるので容易に工業化が可能であり、高いひずみを効果的に導入することができる。

また、本実施形態の塑性加工方法は、簡単な構成の加工型を用いており、容易に工業化が可能で簡単な方法で、高いひずみを効果的に導入することができる。

## 【 0 0 4 9 】

本実施形態の加工型において、小領域  $A$ 、 $B$  の開始点から終了点までの間の型の形状は、平面、曲率が変化しない曲面、あるいは曲率が連続的に変化する曲面で構成される形状の部分をも有し、特に曲率が連続的に変化する曲面で構成される形状の場合には、より効果的にひずみを導入することができるので好ましい。

40

## 【 0 0 5 0 】

ひずみ導入領域の開始点と終了点における、一方向に対して垂直な断面の形状は、同一でも異なってもよい。例えば、断面が円形である円柱状の被加工材料を、断面が矩形である角柱状の材料に形を変形させることが可能である。断面が等断面積となるようにしているので、繰り返し加工ができ、また、本発明の加工方法を繰り返し行った後で、断面積を小さくした、いわゆる絞り加工のような加工も行うことができる。

## 【 0 0 5 1 】

（実施例 3）

図 11 に示す構成の加工型をも有する塑性加工装置を、解析ソフト（ $M S C . s u p e r f o r m$ ）を使用してシミュレーション上で構築し、被加工材料を通したときに、被加工

50

材料に導入された相当ひずみの値をシミュレーションにより算出した。ここで、使用する被加工材料は、アルミニウム-マグネシウム合金(5056合金)とし、10mm×10mm×20mmの大きさとした。加工温度は297Kとし、摩擦係数は0.07とした。加工方向に垂直な断面の形状のアスペクト比を下記のように種々の値に変化させて行った。

#### 【0052】

図12(a)~(c)は、図11に示す加工型において、 $S_0$ と $S_3$ が正方形(縦の辺:横の辺の比が1:1)であり、 $S_1$ と $S_2$ がそれぞれ(0.8:1.25)、(0.6:1.5625)、(0.5:2)のアスペクト比の矩形形状とし、小領域Aを経たときに導入された相当ひずみの値を等ひずみ線で示したものである。

10

(0.8:1.25)のアスペクト比の場合には0.3程度の相当ひずみが導入され、(0.6:1.5625)のアスペクト比の場合には0.6程度の相当ひずみが導入され、(0.5:2)のアスペクト比の場合には0.9程度の相当ひずみが導入されることがわかった。

#### 【0053】

また、図13(a)~(c)は、図11に示す加工型において、 $S_0$ と $S_3$ が正方形(縦の辺:横の辺の比が1:1)であり、 $S_1$ と $S_2$ がそれぞれ(0.8:1.25)、(0.6:1.5625)、(0.5:2)のアスペクト比の矩形形状とし、小領域A,Bを経て取出し部にまで到達したときに導入された相当ひずみの値を等ひずみ線で示したものである。

20

(0.8:1.25)のアスペクト比の場合には0.6程度の相当ひずみが導入され、(0.6:1.5625)のアスペクト比の場合には1.1程度の相当ひずみが導入され、(0.5:2)のアスペクト比の場合には1.8~2.0程度の相当ひずみが導入されることがわかった。

#### 【0054】

(実施例4)

図11に示す構成の加工型を有する塑性加工装置を、解析ソフト(MSC.superform)を使用してシミュレーション上で構築し、被加工材料を通したときに、被加工材料に導入された相当ひずみの値をシミュレーションにより算出した。ここで、使用する被加工材料は、アルミニウム-マグネシウム合金(5056合金)とし、直径10mmの円に収まる程度の各断面形状×20mm厚の大きさとした。加工温度は297Kとし、摩擦係数は0.07とした。加工方向に垂直な断面の形状を下記のように種々に変化させて行った。

30

#### 【0055】

図14(a)~(e)は、図11に示す加工型において、 $S_0$ と $S_3$ がそれぞれ正五角形、正六角形、正八角形、正十二角形、正二十角形であり、 $S_1$ と $S_2$ がそれぞれ(0.6:1.5625)のアスペクト比まで変形された形状とし、小領域Aを経たときに導入された相当ひずみの値を等ひずみ線で示したものである。

正五角形、正六角形、正八角形、正十二角形、正二十角形の場合で、それぞれ、0.6~0.7程度の相当ひずみが導入されることがわかった。

40

#### 【0056】

また、図15(a)~(c)は、図11に示す加工型において、 $S_0$ と $S_3$ がそれぞれ正五角形、正六角形、正八角形、正十二角形、正二十角形であり、 $S_1$ と $S_2$ がそれぞれ(0.6:1.5625)のアスペクト比まで変形された形状とし、小領域A,Bを経て取出し部にまで到達したときに導入された相当ひずみの値を等ひずみ線で示したものである。

正五角形、正六角形、正八角形、正十二角形、正二十角形の場合で、それぞれ、1.1~1.2程度の相当ひずみが導入されることがわかった。

#### 【0057】

上記の本実施形態に係る塑性加工装置及びそれを用いた塑性加工方法によれば、以下の効果を楽しむことができる。

50

- ( 1 ) 一度の加工で多方向のひずみを導入でき、導入したひずみが均等である。
- ( 2 ) 被加工材料に導入できるひずみの量が大きい。
- ( 3 ) バルク状で加工できる。
- ( 4 ) 加工前後に材料形状が同一とすることもできる。
- ( 5 ) 往復押し出し加工ができる。加工加重は従来方法程度の妥当な値である。
- ( 6 ) 上記のように既存の E C A P 法や H B T 法の欠点を克服し、工業化が可能である。

#### 【 0 0 5 8 】

本発明は上記の説明に限定されない。

例えば、第 1 及び第 2 実施形態においては、ひずみ導入領域の開始点における一方向に対して垂直な断面の位置と異なる位置の断面を有する部分がひずみ導入領域内に存在するようにしており、第 3 実施形態においては、ひずみ導入領域の開始点における一方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状の断面を有する部分がひずみ導入領域内に存在するような場合を示しているが、この他、ひずみ導入領域の開始点における一方向に対して垂直な断面の形状と異なる形状、位置と異なる位置、または、形状及び位置と異なる形状及び位置の断面を有する部分がひずみ導入領域内に存在するような場合も適用可能である。例えば、所定の形状をある中心軸を回転軸として回転し、及び/またはこの軸を所定の軸ずらし方向にずらしながら、さらにこの所定の形状のアスペクト比を連続的に変化させるなど、形状を連続的に変化させながら、一方向に移動したときの軌跡で表される形状の部分

10

20

を有する構成の加工型としてもよい。

また、第 1 及び/または第 2 実施形態の加工型と、第 3 実施形態の加工型を直列に接続した構成の加工型を構成してもよい。

その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の変更が可能である。

#### 【 産業上の利用可能性 】

#### 【 0 0 5 9 】

本発明の塑性加工装置は、金属多結晶体の結晶粒を微細化する強ひずみ加工を行う装置に適用できる。

本発明の塑性加工方法は、金属多結晶体の結晶粒を微細化する強ひずみ加工方法に適用できる。

#### 【 図面の簡単な説明 】

30

#### 【 0 0 6 0 】

【 図 1 】 図 1 は第 1 実施形態に係る塑性加工装置の加工型の模式斜視図である。

【 図 2 】 図 2 ( a ) は図 1 に示す小領域 A の、図 2 ( b ) は、小領域 B の、それぞれ開始点と終了点における断面の相対的な位置関係を示す模式図である。

【 図 3 】 図 3 は実施例 1 の加重の値をストロークに対してプロットした図である。

【 図 4 】 図 4 ( a ) ~ ( f ) は実施例 1 で導入された相当ひずみの値を示した図である。

【 図 5 】 図 5 は実施例 1 で被加工材料上の 3 点 ( 中央部、外周近傍部、それらの中間 ) における相当ひずみの値をストロークの値に対してプロットした図である。

【 図 6 】 図 6 は第 2 実施形態に係る塑性加工装置の加工型の模式斜視図である。

【 図 7 】 図 7 ( a ) は図 6 に示す小領域 A の、図 7 ( b ) は、小領域 B の、図 7 ( c ) は小領域 C の、図 7 ( d ) は小領域 D の、それぞれ開始点と終了点における断面の相対的な位置関係を示す模式図である。

40

【 図 8 】 図 8 は実施例 2 の加重の値をストロークに対してプロットした図である。

【 図 9 】 図 9 ( a ) ~ ( f ) は実施例 2 で導入された相当ひずみの値を示した図である。

【 図 1 0 】 図 1 0 は実施例 2 で被加工材料上の 3 点 ( 中央部、外周近傍部、それらの中間 ) における相当ひずみの値をストロークの値に対してプロットした図である。

【 図 1 1 】 図 1 1 は第 3 実施形態に係る塑性加工装置の加工型の模式斜視図である。

【 図 1 2 】 図 1 2 ( a ) ~ ( c ) は実施例 3 において導入された相当ひずみの値を示す図である。

【 図 1 3 】 図 1 3 ( a ) ~ ( c ) は実施例 3 において導入された相当ひずみの値を示す図

50

である。

【図14】図14(a)~(e)は実施例4において導入された相当ひずみの値を示す図である。

【図15】図15(a)~(e)は実施例4において導入された相当ひずみの値を示す図である。

【符号の説明】

【0061】

Rst... ひずみ導入領域

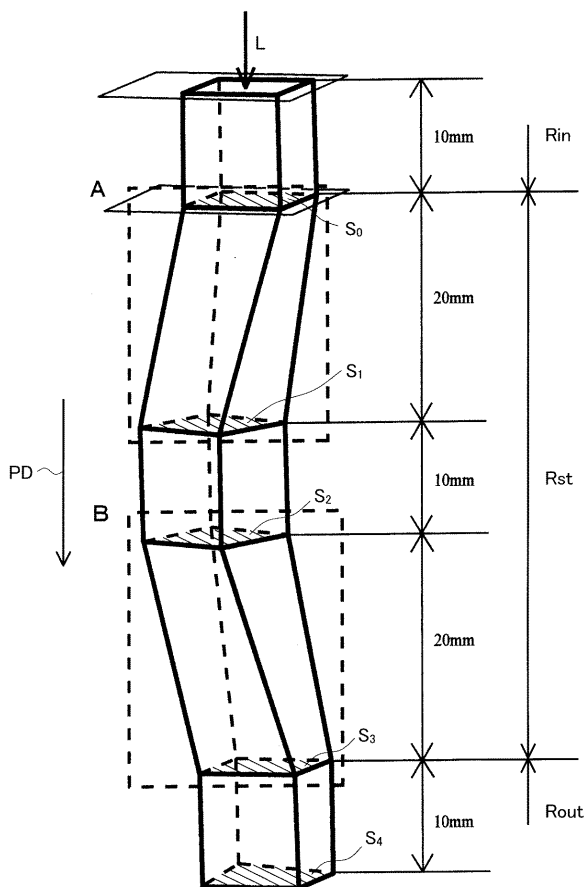
Rin... 誘導部

Rout... 取出し部

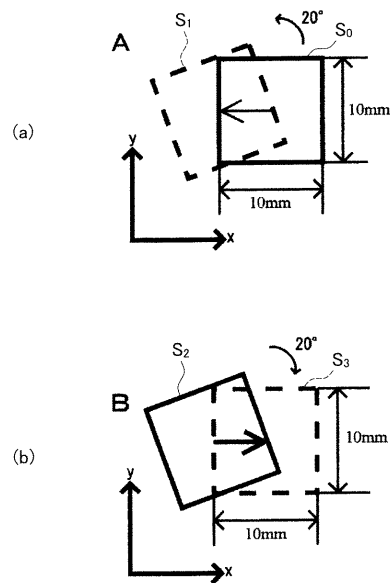
PD... 加工方向

L... 荷重

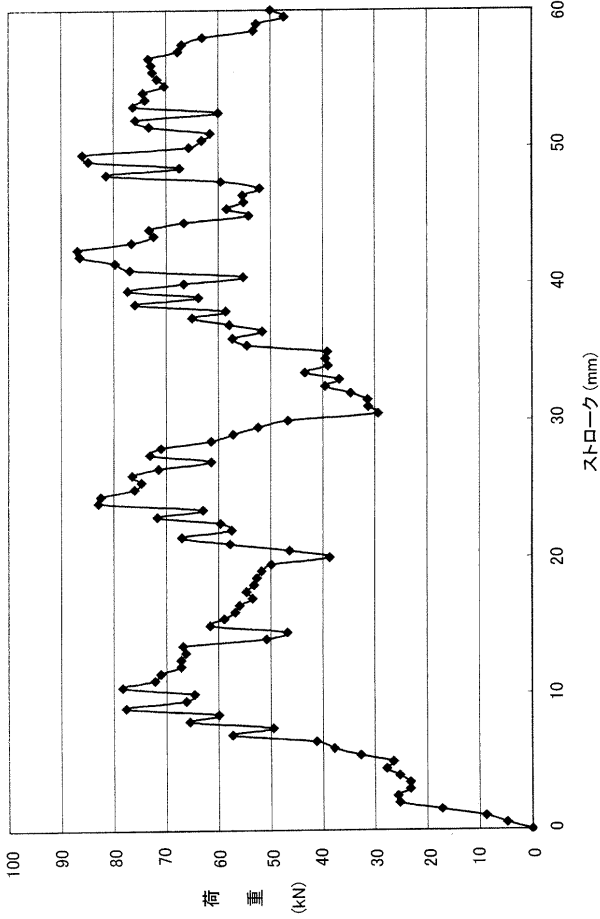
【図1】



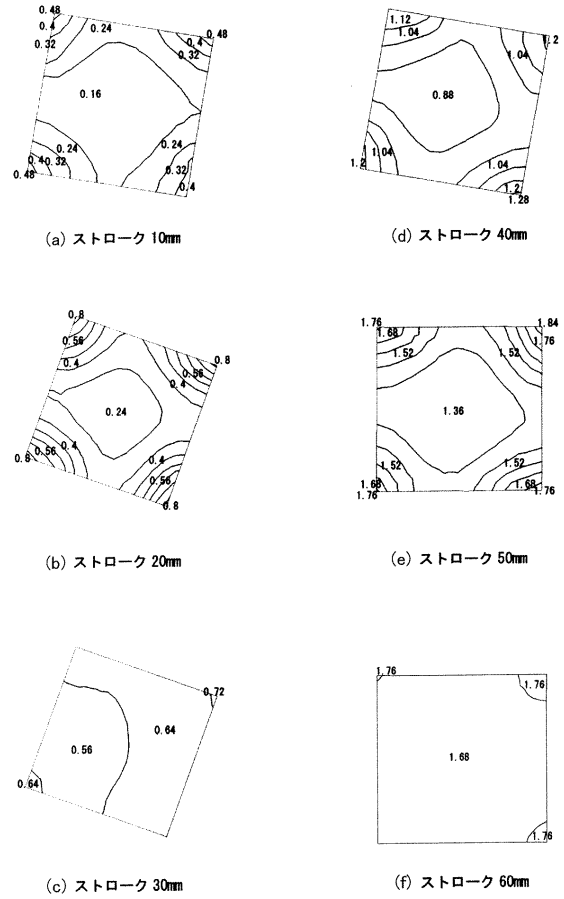
【図2】



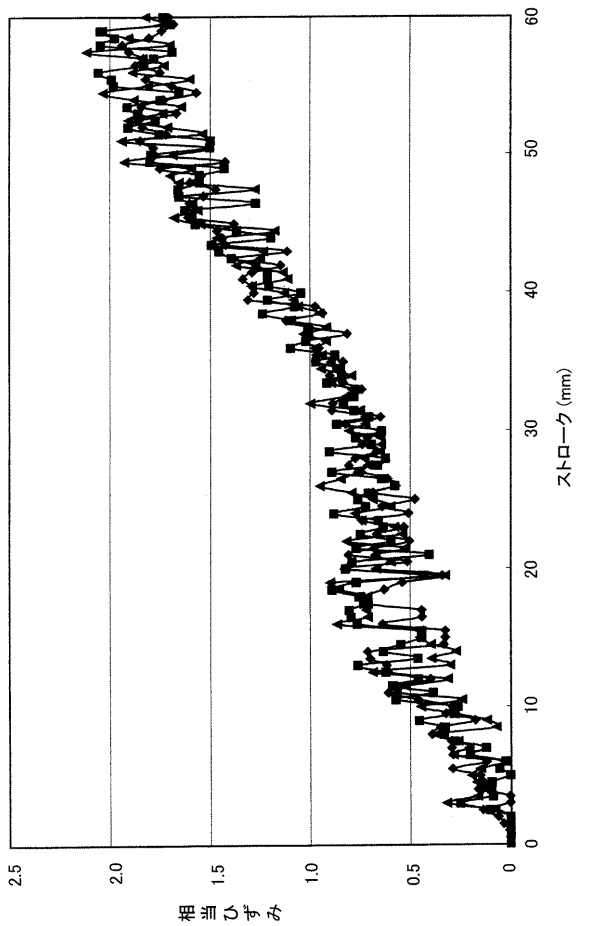
【 図 3 】



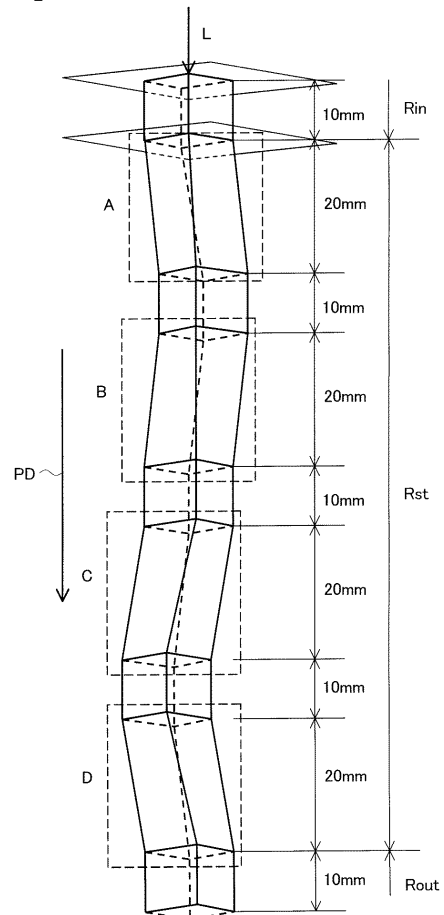
【 図 4 】



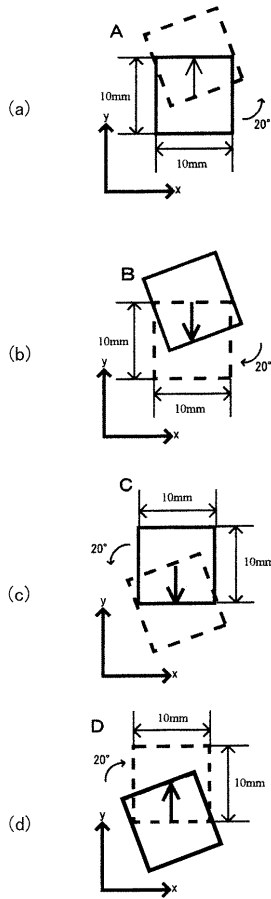
【 図 5 】



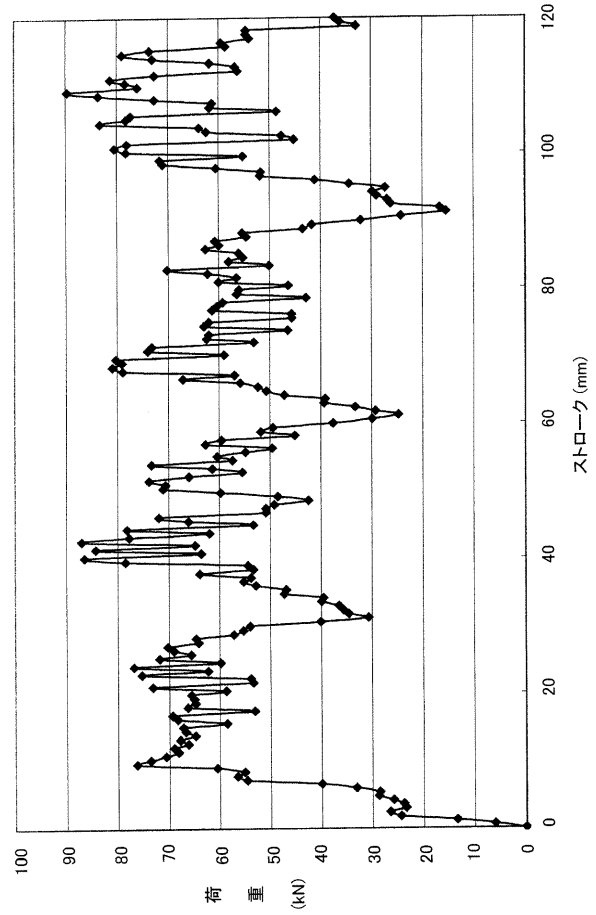
【 図 6 】



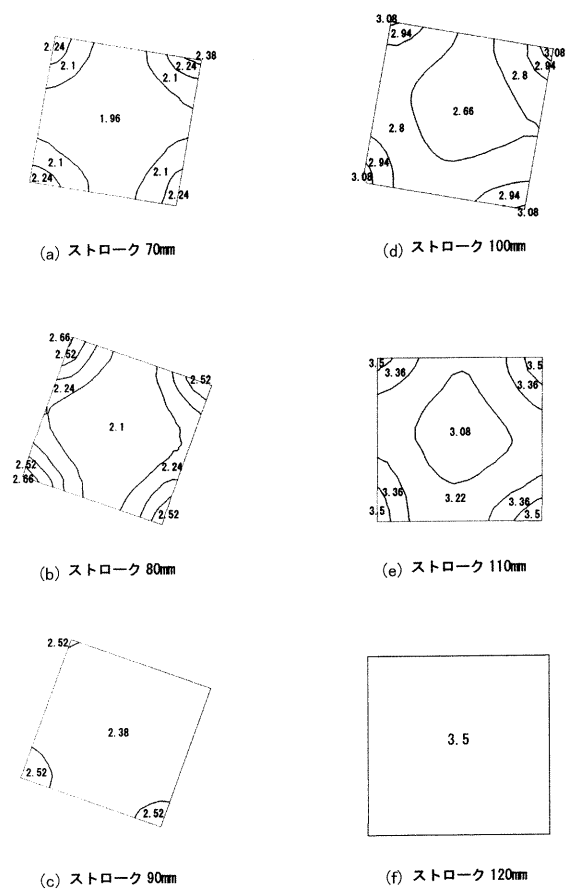
【 図 7 】



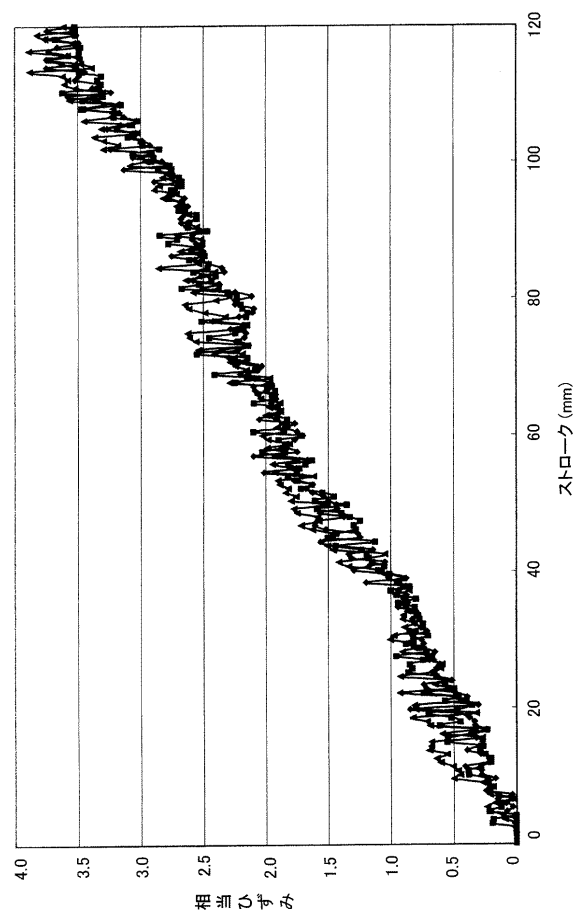
【 図 8 】



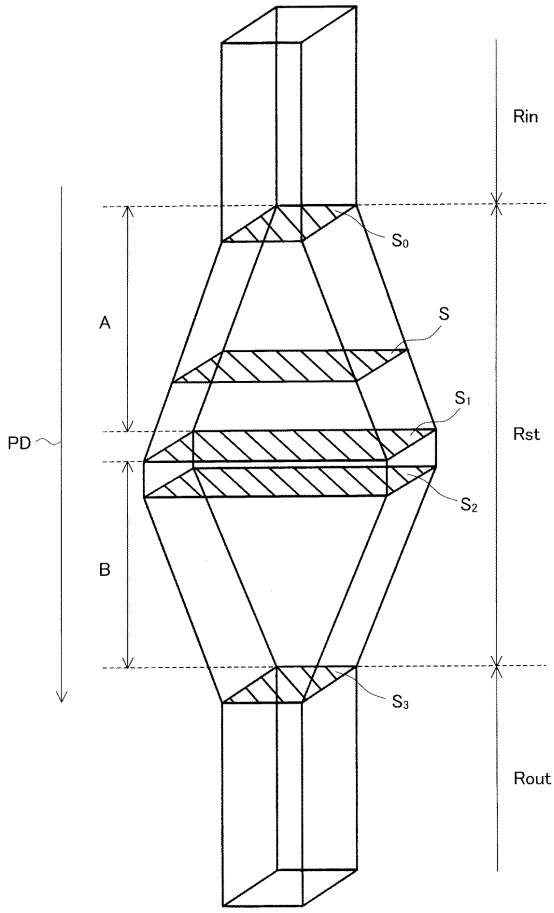
【 図 9 】



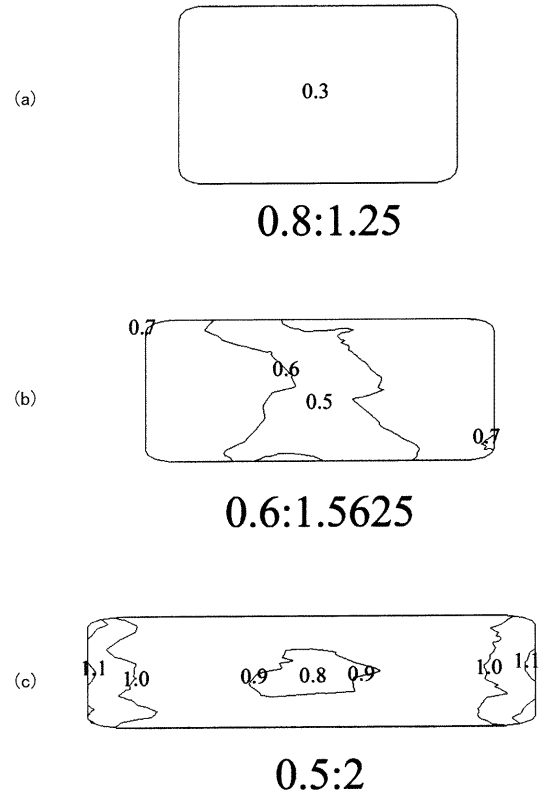
【 図 10 】



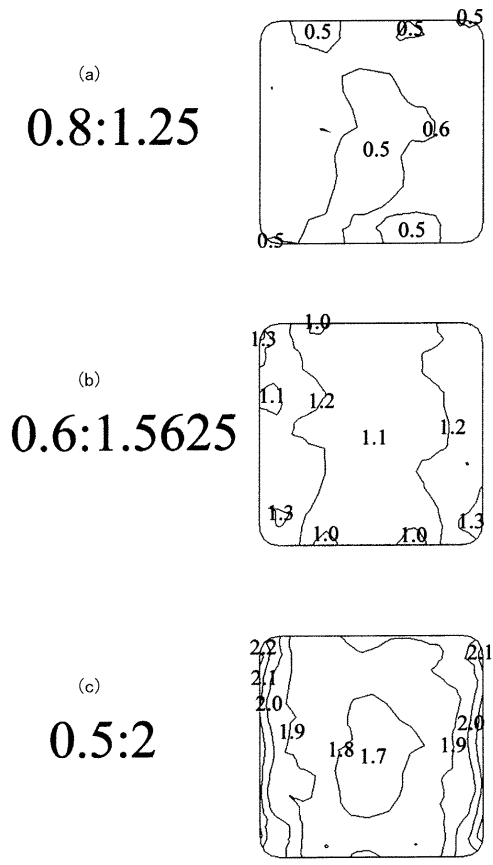
【 図 1 1 】



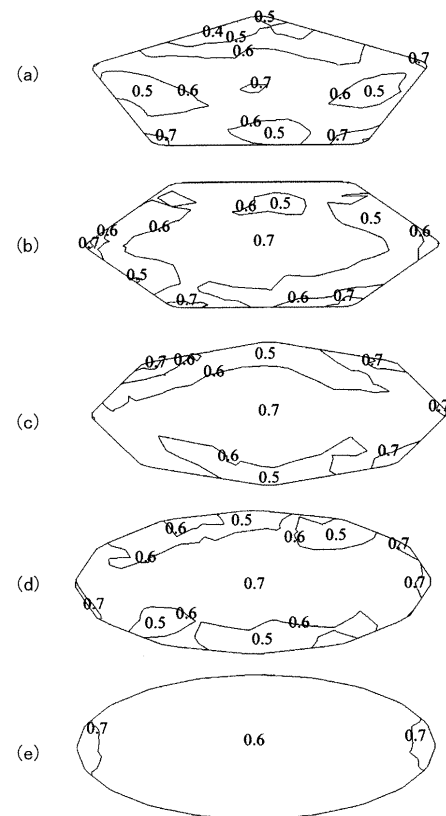
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

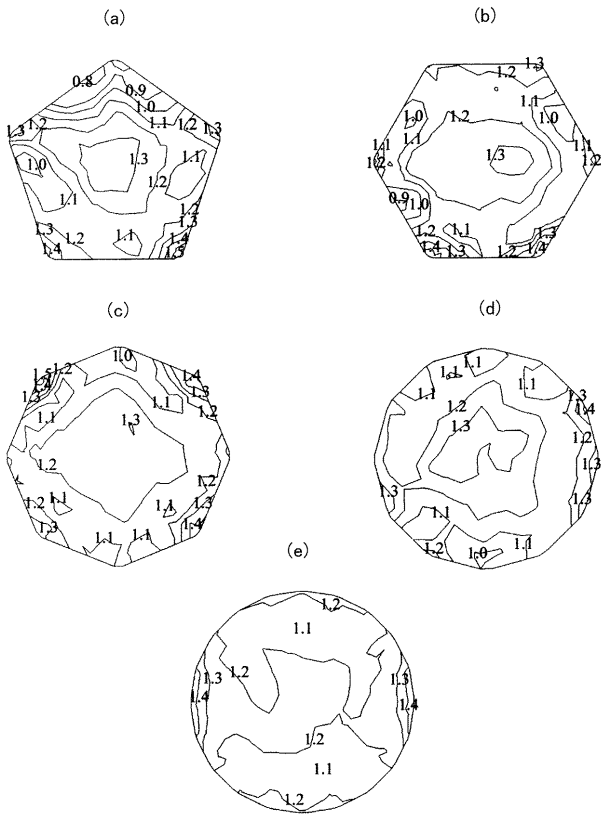


【 図 1 4 】





【 図 15 】



フロントページの続き

(72)発明者 米澤 徳浩

東京都新宿区西新宿 1 - 2 4 - 2 工学院大学内

Fターム(参考) 4E029 AA06 AC07