

(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2006-247734

(P2006-247734A)

(43) 公開日 平成18年9月21日(2006.9.21)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>B 2 1 D 11/14 (2006.01)</b>	B 2 1 D 11/14	4 E 0 2 9
<b>B 2 1 C 23/00 (2006.01)</b>	B 2 1 C 23/00 Z	4 E 0 8 7
<b>B 2 1 C 23/14 (2006.01)</b>	B 2 1 C 23/14	
<b>B 2 1 C 25/02 (2006.01)</b>	B 2 1 C 25/02 Z	
<b>B 2 1 C 29/00 (2006.01)</b>	B 2 1 C 29/00	
審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 15 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2005-70862 (P2005-70862)

(22) 出願日 平成17年3月14日 (2005.3.14)

(71) 出願人 503360115

独立行政法人科学技術振興機構  
埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(74) 代理人 100099265

弁理士 長瀬 成城

(72) 発明者 水沼 晋

千葉県八千代市大和田新田469番地19  
6Fターム(参考) 4E029 AA05 AA06 SA01 SA02 UA01  
4E087 AA01 BA14 BA25 CA13 CA22  
EC13

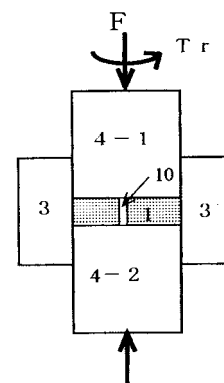
(54) 【発明の名称】 中空材のねじり加工法

(57) 【要約】

【課題】 軸対称、非軸対称のいずれであっても、軸心部のひずみを増大させることが可能な中空材のねじり加工法を提供する。

【解決手段】 軸心部に穴10を形成した軸材料1を、コンテナ3内にて上パンチ4-1と下パンチ4-2により軸方向の圧縮力Fを加えながら、前記上パンチ4-1、下パンチ4-2およびコンテナ3のうちの1以上を軸心の周りに回転することにより、前記軸材料1にねじり変形を加えることにより、軸材料1の軸心部の穴10が縮小消滅する過程で、軸心部にも大きな変形ひずみを発生させることができるので、軸材料1の横断面内において偏ることなく、一様に高いひずみ分布が得られて、高強度等の優れた特性を有する素材が得られる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて上パンチと下パンチにより軸方向の圧縮力を加えながら、前記上パンチ、下パンチおよびコンテナのうちの 1 以上を軸心の周りに回転することにより、前記軸材料にねじり変形を加えることを特徴とする中空材のねじり加工法。

## 【請求項 2】

軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記コンテナまたはダイスを軸心の周りに回転させながら押し出しを行うことを特徴とするねじり加工法。

10

## 【請求項 3】

軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記ダイスから押し出された軸材料を回転させることを特徴とするねじり加工法。

## 【請求項 4】

前記コンテナ内の軸材料を加熱し、前記ダイスから押し出された軸材料を冷却することを特徴とする請求項 3 に記載のねじり加工法。

## 【請求項 5】

軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出ししながら、略直交する側方へ押し出して、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載のねじり加工法。

20

## 【請求項 6】

軸心部に穴を形成した軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする請求項 1 に記載のねじり加工法。

## 【請求項 7】

軸心部に穴を形成した軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする請求項 2 に記載のねじり加工法。

## 【請求項 8】

軸心部に穴を形成した軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする請求項 3 に記載のねじり加工法。

30

## 【請求項 9】

軸心部に穴を形成した軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする請求項 4 に記載のねじり加工法。

## 【請求項 10】

軸心部に穴を形成した軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料の両端間を捻転させながら、加熱部と冷却部とを前記軸材料の一端部から他端部へ連続的に移動させることを特徴とするねじり加工法。

## 【請求項 11】

前記軸材料の軸心部に形成される穴が軸心からオフセットされて形成されたことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれかに記載のねじり加工法。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、金属、高分子、木材等における微細な内部組織、結晶組織や非結晶組織を構成する材料、あるいは超微細な第 2 相を分散させた材料を製造するための、固体状の材料に熱間あるいは冷間で非常に大きな加工ひずみが得られるねじり加工法に関する。Mg 合金、Al 合金等の加工性や強度を向上させることにより、輸送材料の超軽量化が達成でき、各種金属の超塑性加工を可能にし、合金元素が少なくても強度が出せて、リサイクル性も向上する。

## 【背景技術】

50

## 【 0 0 0 2 】

通常、金属材料は原料を溶解精錬してこれを鑄造し、さらに加工成形することにより最終製品形状にする。これには大別して２種類あり、熱間加工後に冷却して製品とする熱間加工製品と、これをさらに冷間で加工成形した冷間加工製品である。熱間加工とは、絶対温度で再結晶温度以上融点以下での加工である。冷間加工とは、再結晶温度以下での加工である。室温（ $20^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 程度）での加工が多い。

## 【 0 0 0 3 】

これらのいずれの方法においても、金属材料に加えられる加工量は製品の材質に大きく影響することが知られている。圧延、鍛造等の加工は、特に結晶粒等のミクロ組織を微細にする上で有効であり、鉄鋼材料、アルミニウム材料等、多くの金属材料でこの方法が採用されている。これは、金属材料の結晶粒が微細であればある程、優れた機械的な性質が得られるからである。

## 【 0 0 0 4 】

熱間加工製品においては、高温で加工した場合、加工ひずみ速度を大きくした大きなひずみを加えることにより、金属材料は動的再結晶状態になり、ひずみ速度が大きい程結晶粒が小さくなる。低温（再結晶温度よりは高い）で加工した場合は、セル状に転位が堆積し、転位の再配列により微細な結晶粒になる。また、冷間加工製品では冷間（再結晶温度以下）における加工量が大きい程、その後に続く焼鈍を行った場合の再結晶粒の大きさを小さくできる。加工温度が融点の90%以上になると、加工ひずみの影響が殆ど材料に残存しないので、加工ひずみを残存させたい場合には、融点の90%未満の温度で加工することが望ましい。高分子材料においても高圧で大きいねじりを加えることにより、微細な内部組織を有する材料を得ることができる。

## 【 0 0 0 5 】

以上のように、大きなひずみを加える手段は、金属内部組織の微細化、非結晶化等に対して有効であるが、従来の加工手段、例えば圧延や鍛造等ではその加え得る変形量に限界があった。例えば、圧延法で板材を加工する場合、板幅は大きくは変化しないので、これは板幅方向のひずみが0の平面ひずみ変形であると考え、材料に加えられる相当ひずみ（ $\epsilon$ ）は便宜的に相当ひずみ量を表す）は、

$$= (2 / 3)^{1/2} \ln(t / t_0) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $t_0$ は素材厚さ、 $t$ は製品厚さである。なお、相当ひずみとはひずみ比が異なる変形のひずみを相対比較できる量であり、金属学的には転位密度に相当するものである。相当ひずみの定義式は、普通の塑性力学の教科書に記載されている（下記非特許文献等参照）。

【非特許文献1】「金属塑性加工の力学」（コロナ社）

## 【 0 0 0 6 】

前記（1）式から分かるように、圧延の場合の相当ひずみは素材厚さと製品厚さの比で決定される。したがって、圧延によって加えることのできるひずみ量には限界がある、例えば、板厚が1/100になったとしても、相当ひずみは5.32程度である。また、鍛造の場合、ひずみ状態は単軸圧縮変形と平面ひずみ圧縮変形の間にある。単軸圧縮変形の場合の相当ひずみは次式のように表される。

$$= \ln(h / h_0) \cdots \cdots (2)$$

ここで、 $h_0$ は素材厚さ、 $h$ は製品厚さである。

この場合でも、相当ひずみは、素材厚さが1/100になったとしても4.61程度であり、オーダーは平面ひずみの場合と同じである。したがって、鍛造の場合でも加えることのできるひずみ量には限界がある。

## 【 0 0 0 7 】

なお、通常の熱間加工製品の場合、このひずみは圧延や鍛造等の加工により、圧下を何

10

20

30

40

50

回かに分けて付与され、その加工と加工との間に加熱、冷却等が加わり、その間で回復や再結晶が起きるため、加熱や冷却を繰り返すことなく一度に加工して、前記(1)式や(2)式のひずみを加えた場合に比べて、得られる結晶粒は一般的には大きくなる。

#### 【0008】

押出し加工は金属材料の量産プロセスとしてよく用いられている。1パスで大きいひずみが得られるのが利点である。相当ひずみは、前記(2)式の $h_0$ を素材長さ、 $h$ を製品長さに置き換えれば、この式がそのまま使える。しかし、この方法でも伸び(押出し比)はやはり100程度が限界であり、相当ひずみは4.61程度である。非常に大きいひずみを材料に加える方法は、現在ではかなり多く知られている。それらのうちでも、材料にねじり変形を加える方法は、材料の破断がなければ限りなくひずみを蓄積させることができるので有望である。それらには、圧縮ねじり法、ねじり押出し法、連続ねじりプロセス等がある。

10

#### 【0009】

圧縮ねじり法は、図10に示すように、円筒状のコンテナ3に高さの低い円柱試料1を装入し、上部から円柱形状の上パンチ4-1で大きい圧縮力を $P$ を加えながら、トルク $T_r$ を加えて回転させる方法である。図10の場合、下パンチ4-2は回転されないが、上パンチ4-1と反対方向に回転させてもよい。また、下パンチ4-2を回転させないで、上パンチ4-1の半分の回転速度でコンテナ3を同方向に回転させても、コンテナ3を回転させずに上パンチ4-1と下パンチ4-2とを互いに反対方向に回転させた場合と同様の効果が得られる。図10の方法は、下記非特許文献2および3等に記載されている。

20

【非特許文献2】Valiev, R et al: Mat. Sci. and Eng., A 137(1991), 35

【非特許文献3】金武ほか：第43回塑性加工連合講演会(1992), 73

#### 【0010】

この方法によれば、材料の外周部では $\mu m$ 以下のオーダーの結晶粒径を得ることが可能であるが、材料の軸心部のひずみは小さい場合が多い。この方法では、例えば通常のピレット(数十mm径×数m長さ)のように長いサイズ of 材料を製造することは不可能である。それは、材料1が長くなると上下パンチ4-1、4-2面で発生させたトルクがコンテナ3の内面と材料外面の摩擦のため、材料の長さ方向中央部(両端部を除く部分)にまでは伝わらず、材料全長にわたって大きいねじりひずみを加えることができないからである。

30

#### 【0011】

長い材料が必要な場合には、図11に示したねじり押出し法が有効である。これは本件発明者の発明になるものである。下記特許文献1～7に記載されている。

【特許文献1】特願2003-174091

【特許文献2】特願2003-405169

【特許文献3】特願2003-405170

【特許文献4】特願2003-421551

【特許文献5】特願2004-027381

【特許文献6】特願2004-008879

【特許文献7】特願2004-008880

40

#### 【0012】

上記方法の原理を以下に説明すると、図11に示すように、コンテナ3内に装填された材料1をプッシャ4で押し込み、ダイス2で変形させた前方押出し法において、コンテナ3またはダイス2の一方を固定し、他方を押出し軸 $a$ の周りに回転させながら、プッシャ4により押出し加工を行うねじり前方押出し加工法がその方法である。図11はダイス2を回転させる場合である。材料部分1-1は材料1のコンテナ3内の部分、材料部分1-2はダイス2内の押出し変形を受けた部分である。

#### 【0013】

材料1-1と材料1-2が相対的に回転することにより、それらの境界の点線で囲まれ

50

た材料部分 A がねじり変形を受けるのである。この場合、押出し比  $r = (D_0 / D)^2$  が小さく、断面減少部の長さ比  $L / D_0$  が短く、また回転数  $N$  が少ない場合には、材料中心軸上のひずみは外周部と比べると非常に小さいという問題がある。L は図 12 中に示すように、押出し変形部分の長さである。なお、押出し比、面積減少部の長さ比が短く、回転数が少ない方が設備負荷や作業上有利であることは言うまでもない。

#### 【0014】

図 13 も特許文献 4 に記載されたねじり押出し法の 1 つであるが、この場合は、ダイス 2 やコンテナ 3 を回転させないで、代わりに把持回転装置 5 により出口側の材料をねじりながら進行方向に移送する。この場合のねじり変形域は図中 B の領域である。なお、材料がダイス 2 に接触していない C の領域でねじられると、この領域は静水圧が低いので材料破断が生じ易くなる。これを防止するために、通常は、コンテナ 3 内の材料を加熱装置 H により加熱しておき、ダイス 2 の出口側を冷却装置 R により冷却する手段がとられる。このようにすると、B 領域はダイス 2 による変形直後の B' 領域へ移動し、大きいねじりひずみを材料に加えることができるようになる。

10

#### 【0015】

この場合も押出し比や断面減少部長さ比が小さく、回転数が少ないと材料軸心部のひずみは小さくなる。回転把持装置 5 の代わりに図 14 に示した傾斜ロール 5-1 を駆動する方法がある。傾斜ロール 5-1 は押出し軸 a とロールの軸 b が だけ傾斜するように設置される。この傾斜ロール 5-1 を図の矢印 y1 の方向に回転させると、材料 1-2 も図中に示した矢印 y2 の方向に回転しながら出口方向に進行する。この傾斜ロールは図 15 の c-c 断面図に示したように 3 本 (5-1、5-2、5-3) からなる。これらの 3 つのロールはそれぞれの間が  $120^\circ$  をなす d1、d2、d3 の位置に設置されている。材料が正しく出口方向へ進行するようなガイドを設けておけば 2 本でもよい。

20

#### 【0016】

これら以外にも、下記非特許文献 3 に記載された図 16 に示すようなものもある。棒材 (軸材料) の一端部 P を固定し、他端部 Q を把持回転装置により捻転させながら、加熱部と冷却部を一端部 P から他端部 Q へ連続的に移動させ、ねじりひずみを棒材の全体に加える方法があるが、この場合にも当然軸心部のひずみは小さい。図中 H は加熱装置、R1、R2 は冷却装置であり、これらは一体となって、矢印方向に移動する。

【非特許文献 3】第 55 回塑性加工連合講演会 (2004.11) p393

30

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0017】

前述したように、ねじりを伴う各種加工法では、軸心部のねじりが小さくなる場合が非常に多い。この問題を解決するためには、変形を非軸対称化することが考えられる。そのために、例えば、図 17 および図 18 に示したような方法がある。図 17 は前記特許文献 2 に記載されたもので、コンテナ 3 の軸心 e とダイスの軸心 a をオフセットすることにより、変形を非軸対称化することにより、材料軸心部のひずみを大きくしたものである。図 18 は前記特許文献 4 に記載されたもので、コンテナ 3 内を偏加熱し、材料温度を非軸対称とすることにより、軸心部のひずみを増大させた例である。

40

#### 【0018】

これらの例のように変形を非軸対称化することは、適切な設備対応をすることにより有効な技術となる。しかしながら、そのような設備対応なしに軸対称設備のままで軸心部のひずみを増大させることが困難であった。

#### 【0019】

そこで、本発明では、前述のねじり加工法の課題を解決して、軸対称、非軸対称のいずれであっても、格別に装置の肥大化を招くことなく、軸心部のひずみを増大させることが可能な中空材のねじり加工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】

#### 【0020】

50

そのため本発明は、

1. 軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて上パンチと下パンチにより軸方向の圧縮力を加えながら、前記上パンチ、下パンチおよびコンテナのうちの1以上を軸心の周りに回転することにより、前記軸材料にねじり変形を加えることを特徴とする。
2. 軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記コンテナまたはダイスを軸心の周りに回転させながら押出しを行うことを特徴とする。
3. 軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記ダイスから押し出された軸材料を回転させることを特徴とする。
4. コンテナ内の軸材料を加熱し、前記ダイスから押し出された軸材料を冷却することを特徴とする前記3に記載のねじり加工法。
5. 軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出ししながら、略直交する側方へ押し出して、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させることを特徴とする前記3または4に記載のねじり加工法。
6. 軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする前記1に記載のねじり加工法。
7. 軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする前記2に記載のねじり加工法。
8. 軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする前記3に記載のねじり加工法。
9. 軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給することを特徴とする前記4に記載のねじり加工法。
10. 軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料の両端間を捻転させながら、加熱部と冷却部とを前記軸材料の一端部から他端部へ連続的に移動させることを特徴とする。
11. 前記軸材料の軸心部に形成される穴が軸心からオフセットされて形成されたことを特徴とする前記1から10のいずれかに記載のねじり加工法。を構成要件とするもので、これらを課題解決のための手段とする。

#### 【発明の効果】

##### 【0021】

以上のように構成したので、軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて上パンチと下パンチにより軸方向の圧縮力を加えながら、前記上パンチ、下パンチおよびコンテナのうちの1以上を軸心の周りに回転することにより、前記軸材料にねじり変形を加えることにより、軸材料の軸心部の穴が縮小消滅する過程で、軸心部にも大きな変形ひずみを発生させることができるので、軸材料の横断面内において偏ることなく、一様に高いひずみ分布が得られて、高強度等の優れた特性を有する素材が得られる。

##### 【0022】

また、軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記コンテナまたはダイスを軸心の周りに回転させながら押出しを行う場合は、軸材料を押出し加工することによっても、コンテナとダイスとの相対的回転により軸材料に効果的にねじりを加えつつ、ダイスにより軸材料の軸心部の穴が縮小消滅する過程で、軸心部にも大きな変形ひずみを発生させることができるので、軸材料の横断面内において偏ることなく、一様に高い硬度が得られて、高強度の素材が得られる。

##### 【0023】

さらに、軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記ダイスから押し出された軸材料を回転させる場合は、コンテナおよびダイス自体を回転させる必要がないので、押出し装置外に別途の回転装置が必要となるものの、押出し装置が複雑かつ肥大化することがない。

##### 【0024】

さらにまた、前記軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出して

10

20

30

40

50

ダイスにより縮径するとともに、前記ダイスから押し出された軸材料を回転させるものであって、コンテナ内の材料を加熱し、前記ダイスから押し出された軸材料を冷却する場合は、ダイスから押し出され冷却された材料は変形抵抗が高く、ねじり変形を受けないので、ねじりが高温のため変形抵抗が低く、また静水圧の高いダイス内に局限され、効率的に大きいねじりひずみを材料に加えることができる。

【0025】

また、軸心部に穴を形成した軸材料を、コンテナ内にて軸方向に押し出ししながら、略直交する側方へ押し出して、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させたものを、前記ダイスから押し出された軸材料を回転させるか、またはコンテナ内の穴あき材料を加熱し、前記ダイスから押し出された軸材料を冷却しながらダイスから押し出された軸材料を回転させる場合は、軸材料が略直交する側方へ押し出される過程で、剪断力により軸心部の穴が効果的に消滅して軸心部に大きなひずみを加えることができるとともに、大きいねじりひずみも付与される。なお、押出し装置外での冷却は、ねじりひずみによる結晶粒微細化を促進させる効果がある。

10

【0026】

さらに、軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内にて上パンチと下パンチにより軸方向の圧縮力を加えながら、前記上パンチ、下パンチおよびコンテナのうちの1以上を軸心の周りに回転することにより、前記軸材料にねじり変形を加える場合は、押出し加工によって軸心部の大きなひずみを得た上で、コンテナ内でのコンテナと上下のパンチとの間の相対回転によりさらに大きなねじりひずみを得られる。

20

【0027】

さらにまた、軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内に供給するものであって、コンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記コンテナまたはダイスを軸心の周りに回転させながら押出しを行う場合は、押出し加工により軸心部の大きなひずみ変形を得た軸材料を、コンテナとダイスとの相対回転によるねじりひずみを加えて、横断面に一樣な大きな歪みを得ることができる。

【0028】

また、軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記ダイスから押し出された軸材料を回転させる場合は、押出し加工により軸心部の大きなひずみ変形を得た軸材料を、ねじり回転機構を省いた簡素な押出し装置外において軸材料を回転させてねじりひずみを得られる。

30

【0029】

さらに、軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料をコンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径するとともに、前記ダイスから押し出された軸材料を回転させるものであって、材料を加熱し、前記ダイスから押し出された軸材料を冷却する場合は、押出し加工により軸心部の大きなひずみ変形を得た軸材料を、ねじり回転機構を省いた簡素な押出し装置外において軸材料を回転させてねじりひずみを得るに際して、ねじりひずみが温度が高く、また、静水圧の高いダイス間に局限されるとともに、冷却による結晶粒微細化効果も得られる。

40

【0030】

さらにまた、軸心部に穴を形成した軸材料を押出し加工することにより、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させた軸材料の両端間を捻転させながら、加熱部と冷却部とを前記軸材料の一端部から他端部へ連続的に移動させる場合は、軸心部のひずみの小さい領域をほぼ消滅させることができる。

【0031】

また、前記軸材料の軸心部に形成される穴が軸心からオフセットされて形成された場合は、軸心部の穴をほぼ縮小消滅させる上述のひずみ量の増大に加えて、変形ひずみが非軸

50

対称となり、軸心部のひずみをさらに増大させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、図面を用いて本発明を詳細に説明する。本発明の原理は、軸材料の軸心部に予め穴を形成しておき、この穴を押出し加工により縮小消滅させたものをねじり変形加工の素材として用いるか、あるいは、変形加工をする前に軸材料の軸心部に予め穴を形成しておき、変形加工に伴う軸方向の圧縮変形と軸心の周りのねじり変形との組合せ変形により、その穴を縮小消滅させるものである。このような加工変形の場合のひずみ挙動について現象を単純化し、図2を用いて以下に説明する。図2の横軸は軸心Oからの半径位置（外周半径が $r_0$ ）、縦軸はひずみである。ねじりによるひずみは、軸心で0、軸材料の外周で最大となる。一方、穴の縮小消滅によるひずみは、軸心で無限大、軸材料の外周で0となる。実際の加工変形におけるひずみは、これら2種類のひずみが合成されたとなる。

10

【0033】

この原理をすでに説明した各種ねじり加工法に適用する具体的な方法を以下に説明する。請求項1から4に記載された方法においては、穴は軸心部でなくてもよい。変形が非軸対称になり、軸心部のひずみを増加する効果もあるからである。すなわち、図18の偏熱材と同様の効果を有することになる。上記の方法において、中空材はドリルにより穴を形成するのが普通であるが、マンネスマン穿孔法やプレスロール穿孔法等の穿孔加工法によってもよい。また、ポーラスメタルのように多数の穴が開いた材料を使用してもよい。特に、軸材料を加熱して変形加工する場合には、軸材料の中空部を脱気した後、軸材料の両端部を溶接する等して密閉しておくことが望ましい。加熱温度は金属材料の場合、再結晶温度（通常、融点の $1/2 \sim 1/3$ ）以下であれば、加工によりひずみを累積させることができるが、再結晶温度以上であっても動的再結晶温度域において急速加工し、その直後急冷すれば、微細な結晶粒を得ることができる。

20

【0034】

前記請求項1から4および6から9に記載された方法によれば、すでに図2で説明した原理により、軸材料の軸心部のひずみが非常に大きくなり、ねじりを利用する従来の加工法が有していた、軸心部のひずみが小さいという欠点を完全に補うことができることとなった。すなわち通常の圧縮、鍛造、押出し等の加工方法で得られる加工ひずみを大きく上回る加工ひずみを軸材料の軸心部にも加えることができるようになり、熱間や冷間で材料内部組織を微細にしたり、高密度にする生産プロセスに有効に適用できるようになるメリットは大きい。なお、請求項1から4および6から9に記載された方法において、ダイスの回転方向はいずれの方向でもよく、また、正逆交互に回転させてもよい。一方向に回転させれば結晶粒の平均的な方位が揃い易く、また、交互に回転させればランダムに近くなる。

30

【0035】

請求項1から4および6から9に記載された方法では、素材の軸心部に形成される穴の寸法は、軸材料の種類により、また、加工温度により異なるが、適切な穴径は直径の10%から50%程度である。また、ポーラスメタルのように多数の穴が開いている場合には、その横断面の面積割合（空隙率）は5%から50%程度が最適である。

40

【0036】

図1に、請求項1に記載された方法の例として、軸心部に沿って貫通した穴10を開けた素材を使用する場合を示した。これをコンテナ3内にセットした後、上パンチ4-1と下パンチ4-2との間に圧縮力をかけた状態にて、上パンチ4-1、下パンチ4-2、コンテナ3のうちの1つ以上を回転させることにより、ねじりひずみを軸材料に導入する。圧縮力のみにより穴が縮小消滅する条件はあるが、ねじりを加えた方が穴は消滅し易い。

【0037】

図3に、請求項2に記載された方法の例として、軸心部に沿って貫通した穴10を開けた素材を使用する場合で、軸材料をコンテナ内にて軸方向に押し出してダイスにより縮径

50



するものを示した。軸材料をコンテナ内 3 内にセットした後、プッシャ 4 により押し力を加え、ダイス 2 を回転させながら、ねじり押しを行う。図中点線で示した E 領域で穴 10 が縮小消滅する。

【0038】

図 4 に、請求項 3 に記載された方法の例として、軸心部に穴 10 が開いた素材を使用する場合、押し後の出口に設けた軸材料の把持回転装置 5 により、押し出された軸材料をねじりながら押し出し加工を行う方法を示した。当然、把持回転装置 5 として、傾斜ロール 5 - 1、5 - 2 (図 14 参照) を用いてもよい。

【0039】

図 5 に、請求項 4 に記載された方法の例として、軸心部に穴 10 が開いた軸材料を素材として用い、押し機 5 の出口に設けた軸材料の把持回転装置 5 により、押し出された軸材料 1 - 2 をねじりながら、押し出し加工を行う方法を示した。コンテナ 3 内の軸材料 1 - 1 は加熱装置 H により加熱され、押し出し機出口側の軸材料 1 - 2 は冷却装置 R により冷却される。この場合にも、把持回転装置として傾斜ロール 5 - 1、5 - 2、5 - 3 を用いてもよい。

【0040】

図 7 に、請求項 5 に記載された方法の例として、軸心部の穴 10 を縮小消滅するための側方押し装置を示した。入り側軸材料 1 - 1 がパンチ 4 による押し力を受けて穴が縮小するが、成品側 1 - 2 への遷移位置 E - F で切断力を受けて穴が消滅する。この方式では、入り側の素材の断面積と出側の成品の断面積を等しくしておくことができるという利点がある。

【0041】

請求項 6 に記載された方法の例としては、図 6 のような押し装置で軸心部に穴 10 が開いた軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴 10 をほぼ縮小消滅させた後、これを素材として用いて、図 1 の方法により圧縮ねじり変形を加える方法である。

【0042】

請求項 7 に記載された方法の例としては、図 6 のような押し装置で軸心部に穴 10 が開いた軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴 10 をほぼ縮小消滅させた後、これを素材として用いて、図 3 の方法によりねじり押し法で加工するものである。

【0043】

請求項 8 に記載された方法の例としては、図 6 のような押し装置で軸心部に穴 10 が開いた軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴 10 をほぼ縮小消滅させた後、これを素材として用いて、図 4 の方法により、押し出し後の出口に設けた軸材料の把持回転装置 5 により、押し出された軸材料をねじりながら押し出し加工を行うものである。

【0044】

請求項 9 に記載された方法の例としては、図 6 のような押し装置で軸心部に穴 10 が開いた軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴 10 をほぼ縮小消滅させた後、これを素材として用いて、図 5 の装置により、コンテナ 3 内の軸材料を加熱し、押し出し機出口側の押し出された軸材料を冷却して、ねじり押し加工を行うものである。

【0045】

請求項 10 に記載された方法の例としては、図 6 のような押し装置で軸心部に穴 10 が開いた軸材料を押し出し加工することにより、軸心部の穴 10 をほぼ縮小消滅させた後、これを素材として用いて、図 16 の装置により、軸材料の両端間を捻転させながら、加熱部 H と冷却部 R1、R2 とを前記軸材料の一端部から他端部へ連続的に移動させることによりねじり加工を行うものである。

【実施例 1】

【0046】

Mg 合金 AZ31 (Al : 3%、Zn : 1%) の軸材料 (直径 : 10 mm、長さ : 30 mm、穴径 : 3 mm) を使用し、図 8 の装置 (模式的な垂直断面図) を用いて、ねじり押し加工を実施した。図 8 の装置は、モータ M により駆動されるベルト 12 を介してダイ

10

20

30

40

50

ス固定装置である治具 11 を回転させる。治具 11 はベアリング 8 を介してフレーム部に回転自在に軸支されるとともに、回転軸上にダイス 2 を固定している。コンテナ 3 内には加熱装置 H が設置されており、該加熱装置 H によりコンテナ 3 内の軸材料 1 - 1 が加熱されつつ、プッシャ 4 により加圧されて軸方向に押し出される。押し出された軸材料 1 - 2 は、ダイス 2 により縮径されつつ回転し、押し出し機外に押し出される。

【0047】

軸材料 1 - 1 は、加熱装置 H である棒状ヒータにより、503 K、473 K、443 K の 3 段階の温度に加熱された。ダイス 2 の穴径は 4 mm である。ねじり押し出し加工の途中止め材の横断面の硬度分布を調査した。加工していない素材部のピッカース硬度は約 60 であるが、押し出し加工された部分の硬度は 503 K と 473 K の場合、80 程度となった。443 K の場合は 90 程度であった。横断面内の半径方向の硬度分布はほぼ一様であり、中心部の硬度が特に低いという現象は見られなかった。また、光学顕微鏡で組織観察を行った結果、横断面内で結晶粒径はほぼ一様であり、503 K の場合は 5  $\mu$ m 程度、473 K の場合は 1 ~ 2  $\mu$ m 程度、443 K の場合は 0.5  $\mu$ m 程度であった。

10

【実施例 2】

【0048】

Mg 合金 AZ31 (Al : 3 %、Zn : 1 %) の軸材料 (直径 : 10 mm、長さ : 20 mm、穴径 : 3 mm) を使用し、図 9 の装置 (模式的な垂直断面図) を用いて、単純圧縮加工を実施した。これは、中心穴の収縮消滅により、ひずみが軸心部に集中することを確認するために行ったものである。

20

【0049】

図 9 において、穴の平らな面を有するプッシャ 4 - 2 を使用し、プッシャは回転しないで、単純な圧縮のみを行った。温度は、503 K、473 K、443 K の 3 段階の温度に加熱された。圧縮後のピッカース硬度の半径方向分布を調査したが、軸心部約 5 mm の範囲で硬度上昇が見られ、軸心部の硬度は低温程高くなった。また、結晶粒径は 443 K の場合、軸心部 5 mm の範囲の平均粒径が 1  $\mu$ m 前後となっていた。外周部は 20 ~ 30  $\mu$ m であった。

【0050】

以上、本発明の実施例について説明してきたが、本発明の趣旨の範囲内にて、軸心穴の形状を含む軸材料の形状 (穴径、穴の断面形状は必ずしも円形でなくてもよい。)、形式および材質、コンテナの形状、形式、上パンチの形状、形式、下パンチの形状、形式、上パンチおよび下パンチならびにコンテナの回転形態、ダイスの形状 (押し出し比を決定する流路の縦断面形状等)、形式およびその回転形態、プッシャの形状、形式および押し出し形態 (流体圧、電動等による加圧)、ダイスから押し出された軸材料の回転形態 (把持部による把持形態と回転駆動形態)、加熱装置および冷却装置の形状、形式 (電熱線による加熱、温水による加熱、空冷、水冷等) およびそれらの装置への配設形態、側方押し出し装置の形状、形式およびその押し出し形態、軸材料の両端間の捻転形態、加熱部と冷却部との軸材料に対する移動形態、軸材料の軸心に対する穴のオフセット量等については適宜選定できる。また、実施例にて説明した諸元が例示的なもので限定的に解釈してはならない。

30

【図面の簡単な説明】

40

【0051】

【図 1】本発明の中空材の圧縮ねじり加工法の原理を示す断面図である。

【図 2】同、軸心穴がひずみに及ぼす効果を説明する図である。

【図 3】同、中空材のねじり押し出し加工法の原理を示す断面図である。

【図 4】同、材料把持回転式ねじり押し出し加工法を示す断面図である。

【図 5】同、コンテナ加熱材料把持回転式ねじり押し出し加工法を示す図である。

【図 6】同、中空材の押し出し加工法を示す断面図である。

【図 7】同、中空材の側方押し出し加工法の断面図である。

【図 8】同、ねじり押し出し装置の実施例の断面図である。

【図 9】同、中空材の圧縮成形装置の断面図である。

50

【図 1 0】従来の圧縮ねじり加工法の断面図である。

【図 1 1】従来のねじり押し加工法の断面図である。

【図 1 2】従来のねじり押し加工法の押し変形長さを示す断面図である。

【図 1 3】従来の材料回転ねじり押し加工法の断面図である。

【図 1 4】従来の傾斜ロール式ねじり押し加工法の断面図である。

【図 1 5】従来の傾斜ロール式ねじり押し加工法の傾斜ロールの配置図である。

【図 1 6】従来の加熱ねじり装置の断面図である。

【図 1 7】従来の非軸対称ねじり押し加工法の断面図である。

【図 1 8】従来の偏熱ねじり押し加工法の断面図である。

【符号の説明】

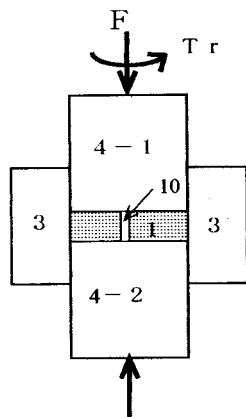
【 0 0 5 2 】

- 1 軸材料
- 1 - 1 軸材料の一部（コンテナ内）
- 1 - 2 軸材料の一部（ダイス内）
- 2 ダイス
- 3 コンテナ
- 4 プッシャ
- 4 - 1 上パンチ
- 4 - 2 下パンチ
- 5 把持回転装置
- 1 0 軸心穴
- F 圧縮荷重
- T r トルク

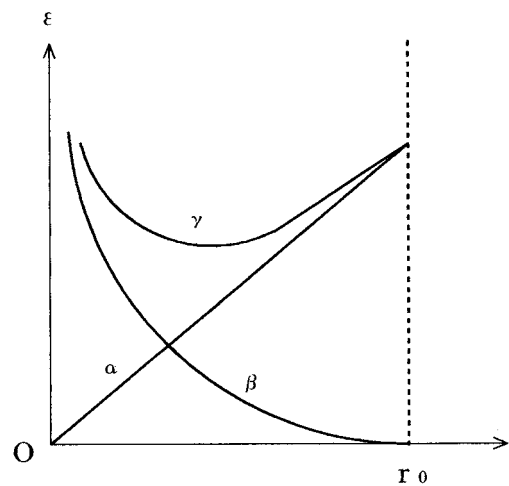
10

20

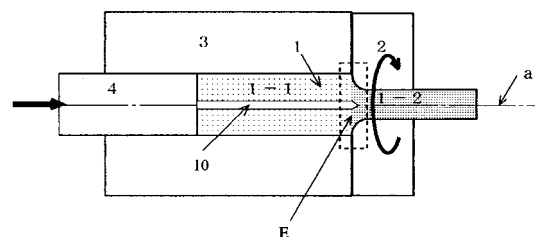
【図 1】



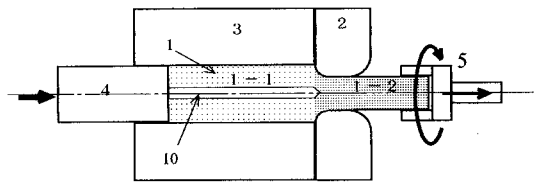
【図 2】



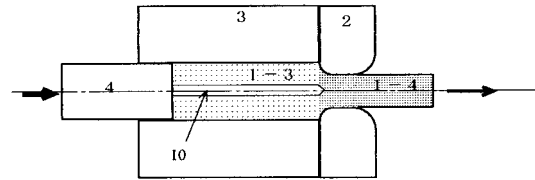
【図 3】



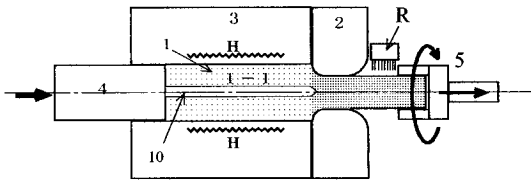
【図 4】



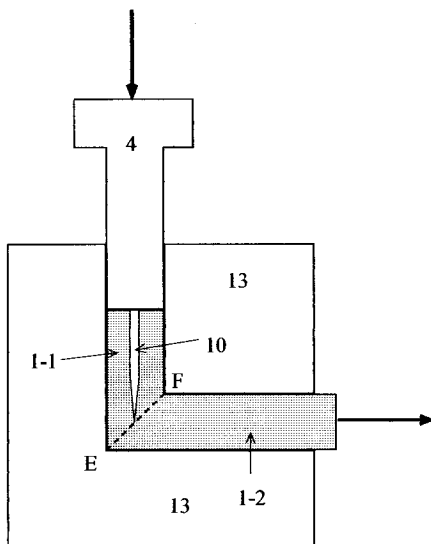
【図 6】



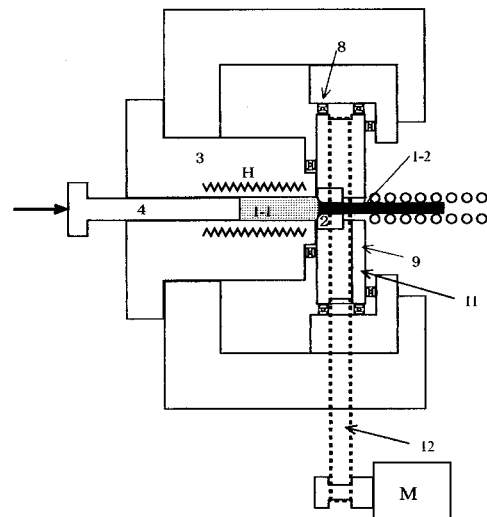
【図 5】



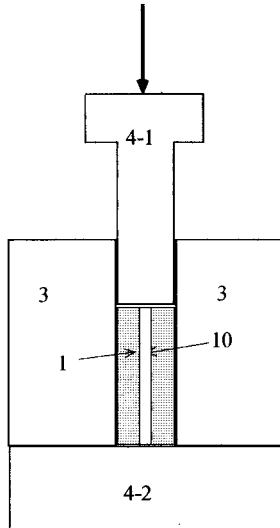
【図 7】



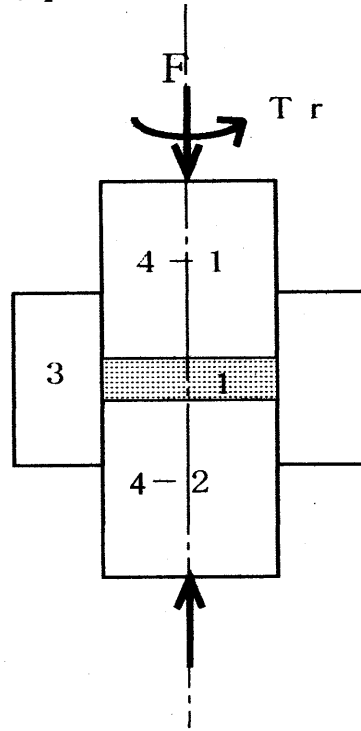
【図 8】



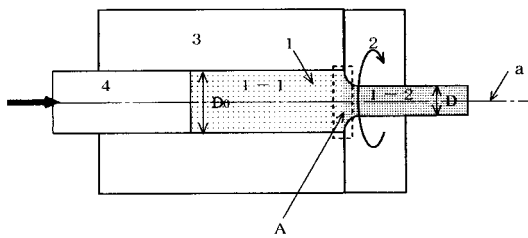
【図 9】



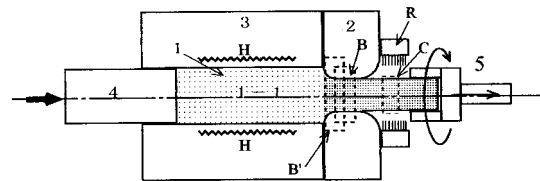
【図 10】



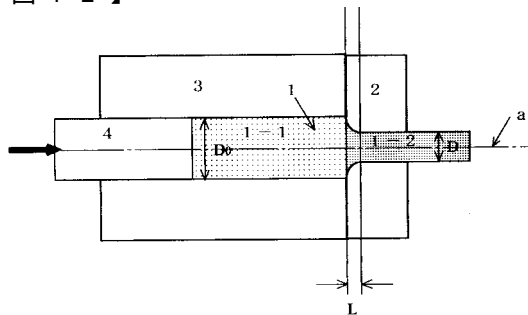
【図 11】



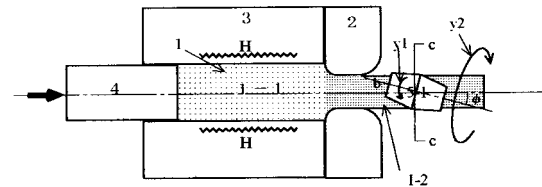
【図 13】



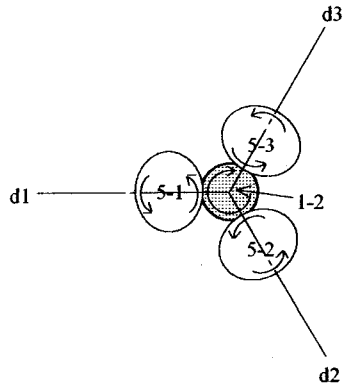
【図 12】



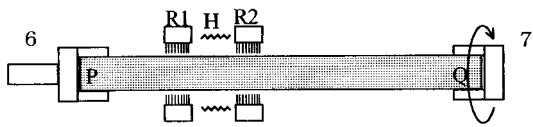
【図 14】



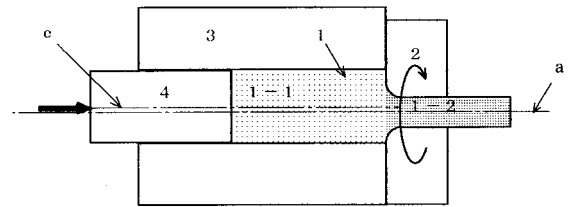
【図 15】



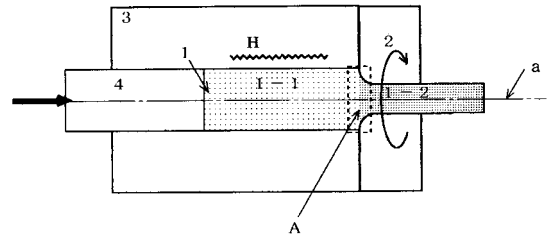
【図 16】



【図 17】



【図 18】



---

フロントページの続き

(51) Int.Cl.

**B 2 1 J 5/06 (2006.01)**

F I

B 2 1 J 5/06

B

テーマコード(参考)