

(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2016-182606

(P2016-182606A)

(43) 公開日 平成28年10月20日(2016.10.20)

(51) Int.Cl.
B21D 13/02 (2006.01)

F1
B21D 13/02

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2015-62662 (P2015-62662)
(22) 出願日 平成27年3月25日 (2015.3.25)

(71) 出願人 714003416
日新製鋼株式会社
東京都千代田区丸の内三丁目4番1号
(74) 代理人 100120891
弁理士 林 一好
(74) 代理人 100182925
弁理士 北村 明弘
(74) 代理人 100116621
弁理士 岡田 萬里
(72) 発明者 野口 恵太
大阪府堺市西区石津西町5番地 日新製鋼
株式会社技術研究所内
(72) 発明者 須釜 淳史
大阪府堺市西区石津西町5番地 日新製鋼
株式会社技術研究所内

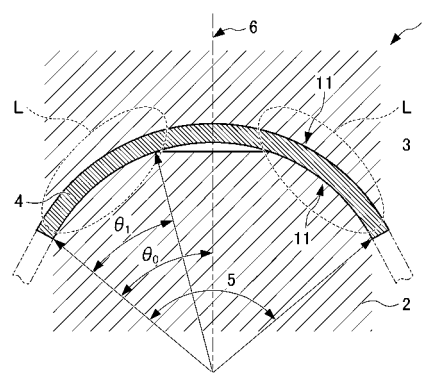
(54) 【発明の名称】 連続波形状製品の製造方法

(57) 【要約】

【課題】高い強度を有する薄板状の材料に対し、スプリングバックの少ない形状凍結性に優れ、低い荷重で連続波形状を成形する製造方法を提供する。

【解決手段】本発明は、曲線状の山と谷を含む連続波形状製品を金型で成形する製造方法である。金型1は、凸部2及び凹部3を有する1対の型からなり、凸部2又は凹部3の曲線部11における中心角 θ_0 の半分の角度を θ_1 とし、成形材料4と金型1とが、凸部2又は凹部3における曲線部11の一端から凸部2の頂部又は凹部3の底部に向かって角度 θ_1 の範囲で接触するとき、 θ_1 と θ_0 との比である θ_1/θ_0 が0.4を超え0.9以下であり、成形材料4は、金型1の凸部2及び凹部3と θ_1 の範囲で接触して成形される。成形材料4の板厚をt、凸部2における頂部の曲率半径を R_1 、凹部3における底部の曲率半径を R_2 としたとき、 $(R_2 - R_1)/t$ が1未満であることが好ましい。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

曲線状の山と谷を含む連続波形状製品を金型で成形する製造方法であって、

前記金型は、凸部及び凹部を有する 1 対の型からなり、前記凸部又は前記凹部の曲線部における中心角の半分の角度を θ_0 とし、成形材料と前記金型とが、前記凸部又は前記凹部における前記曲線部の一端から前記凸部の頂部又は前記凹部の底部に向かって角度 θ_1 の範囲で接触するとき、前記 θ_1 と前記 θ_0 との比である θ_1 / θ_0 が 0.4 を超え 0.9 以下であり、

前記成形材料は、前記金型の前記凸部及び前記凹部と前記 θ_1 の範囲で接触して成形される、連続波形状製品の製造方法。

10

【請求項 2】

前記成形材料の板厚を t 、前記凸部における前記頂部の曲率半径を R_1 、前記凹部における前記底部の曲率半径を R_2 としたとき、 $(R_2 - R_1) / t$ が 1 未満である、請求項 1 に記載の連続波形状製品の製造方法。

【請求項 3】

前記金型で成形する際の荷重は、前記金型で成形する際の自由曲げ荷重 P の 10 倍を超える範囲であり、

前記成形によって得られる前記連続波形状製品における前記山と谷の曲率半径を R_p とし、前記金型における前記凸部及び前記凹部の曲率半径を R_m としたとき、 R_p / R_m が 4 以下である、請求項 1 又は 2 に記載の連続波形状製品の製造方法。

20

【請求項 4】

前記連続波形状製品は、曲線状の山と谷からなる連続波形を有する、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の連続波形状製品の製造方法。

【請求項 5】

前記連続波形状製品は、曲線状及び直辺状の山と谷からなる連続波形を有する、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の連続波形状製品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、連続的な波形状を有する連続波形状製品の製造方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

山形状及び谷形状が交互に連続的に並んだ連続波形状製品は、自動車、プラント又は家電等において、遮蔽板、遮熱板又はパッキン等として利用されており、今後も利用の拡大が予想される。連続波形状部品の板材としては、鋼、アルミニウム、銅などの金属製の板材が使用されている。特に、耐久性、耐食性及び耐熱性等の点で、ステンレス鋼 (SUS) は好適な板材である。また、省スペース及び軽量化のため、薄い板厚が望まれている。

【0003】

ところで、高い強度を有する金属材料からなる薄板材を曲げ加工すると、加工後のスプリングバック量が大きく、所望の形状と寸法の製品を得られない場合がある。そのため、製造工程の生産性や製品の品質の面で課題を有している。

40

【0004】

スプリングバックを回避して凹凸形状を成形する方法には、例えば、山波を成形するパンチとダイの形状を、山波成形後のスプリングバックをあらかじめ是正した所定の山形状に形成した成形装置が提案されている (特許文献 1)。

【0005】

また、リブ山と溝とを交互に形成された製品を成形するに際して、プレス型のパンチとダイスとの間のクリアランスを、塑性加工前の板厚より大きくして、リブ山斜面部が拘束されない状態でプレス成形することが提案されている (特許文献 2)。

【0006】

50

一般に、連続波形状部品を成形する場合は、図9に示すような成形装置を用いて、板材に波付け加工が施される。波付け加工は、複数の凹凸部を有する金型により、被加工材の複数箇所曲げ加工を同時に施す加工形態である。曲げ加工時に被加工材が金型に拘束される状態は、加工部位によって異なるため、各加工部位のスプリングバック量にも差異を生じ、周期性の良好な波形状を得ることが難しい。加工品の曲げ部では、外表面側が引張応力状態となり、内表面側が圧縮応力状態となる傾向にあることから、曲げ加工のスプリングバックは、板厚方向の不均一な応力状態に起因すると考えられている。

【0007】

そこで、スプリングバックの対策としては、曲げ方向、板厚方向又は板幅方向に応力を付与して応力状態を変える方法がある。具体的には、材料の曲げ部を金型で強く圧縮するというコイニング曲げによる方法が提案されている。このコイニング曲げは、曲げ部において、曲げ方向の引張応力及び板厚方向の圧縮応力を付与し、歪硬化により応力状態を変化させて、スプリングバックを低減させる効果がある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2001-137960号公報

【特許文献2】特開2005-078981号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0009】

図9は、一般的な波付け加工法において、ポンチ20及びダイ21からなる金型で板材を成形する加工形態を示した模式図である。図9の(a)は、板材が凹凸状の曲線部が連続する形状となるようにプレス成形する例であり、図9の(b)は、各曲線部の間に直線状の直辺部が配置された形状となるようにプレス成形する例である。金型はいずれも、板材の加工形状に応じた凹凸形状を備えている。これらのプレス成形法において、スプリングバックを抑制するため、上述したコイニング曲げによる手法を適用することができる。その場合、金型を板材に強く押し付けるために、板材に大きな荷重を付与する必要がある。しかし、図9の(a)に示す形状の成形材料は、成形途中の段階で曲線部に十分な引張歪が付与された後も、曲線部の全面で金型と接触している。さらに、図9の(b)に示す直辺部を含む形状の成形材料では、成形中は、曲線部及び直辺部の両方で金型に接触している。いずれの場合においても、コイニング曲げ手法で強く押圧しても十分な面圧を付与することができない。そのため、スプリングバックを抑制して形状凍結性が良好な形状を得るには、大きな荷重で押圧する必要がある。従来方法は、このような高負荷荷重に適した金型を準備し、成形装置を高荷重で動作させるなど、コストが増大し、作業が複雑になるという課題があり、また、成形に時間を要することから、生産性の向上が難しいという課題があった。

30

【0010】

本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであり、高い強度を有する薄板状の材料に対し、スプリングバックの少ない形状凍結性に優れ、低い荷重で連続波形状を成形することができる製造方法の提供を目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明者は、上記の課題を解決するために鋭意研究を重ねた。その結果、特定の形状の曲げ金型を用いることで、上記の課題を解決できることを見出し、本発明の完成に至った。具体的に、本発明は以下のものを提供する。

【0012】

本発明は、曲線状の山と谷を含む連続波形状製品を金型で成形する製造方法であって、前記金型は、凸部及び凹部を有する1対の型からなり、前記凸部又は前記凹部の曲線部における中心角の半分の角度を θ_0 とし、成形材料と前記金型とが、前記凸部又は前記凹部

50

における前記曲線部の一端から前記凸部の頂部又は前記凹部の底部に向かって角度 θ_1 の範囲で接触するとき、前記 θ_1 と前記 θ_0 との比である θ_1 / θ_0 が 0.4 を超え 0.9 以下であり、

前記成形材料は、前記金型の前記凸部及び前記凹部と前記 θ_1 の範囲で接触して成形される、連続波形状製品の製造方法である。

【0013】

また、本発明は、前記成形材料の板厚を t 、前記凸部における前記頂部の曲率半径を R_1 、前記凹部における前記底部の曲率半径を R_2 としたとき、 $(R_2 - R_1) / t$ が 1 未満である、前記の連続波形状製品の製造方法である。

【0014】

また、本発明は、前記金型で成形する際の荷重は、前記金型で成形する際の自由曲げ荷重 P の 10 倍を超える範囲であり、前記成形によって得られる前記連続波形状製品における前記山と谷の曲率半径を R_p とし、前記金型における前記凸部及び前記凹部の曲率半径を R_m としたとき、 R_p / R_m が 4 以下である、前記の連続波形状製品の製造方法である。

10

【0015】

また、本発明は、前記連続波形状製品が曲線状の山と谷からなる連続波形を有する、前記の連続波形状製品の製造方法である。

【0016】

また、本発明は、前記連続波形状製品が曲線状及び直辺状の山と谷からなる連続波形を有する、前記の連続波形状製品の製造方法である。

20

【発明の効果】

【0017】

本発明によると、高い強度を有する薄板状の材料に対し、低い荷重で連続波形状を形状凍結性に優れて成形することができる。そのため、良好な形状精度により連続波形状製品を製造できる。また、金型への負荷が軽減されて金型寿命が長くなり、成形装置を高い負荷で動作させる必要がないので、コストが低減し、成形作業が容易となり、生産性の向上にも寄与する。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明に係る製造方法で得られる連続波形状製品の一例を示す図である。

【図2】本発明に係る連続波形状製品の他の一例を示す図である。

【図3】本発明に係る製造方法で使用する金型と成形材料との関係を説明するための模式図である。

【図4】金型の曲率半径及び成形材料の板厚と、曲げ先端部での成形材料の金型への接触との関係を示す模式図である。

【図5】自由曲げを説明するための模式図である

【図6】曲げ加工の荷重 - プレスストローク曲線から自由曲げ荷重を求める手法を示す図である。

【図7】金属材料について式(1)の定数 C と $2L / t$ との関係を示した図である。

【図8】実施例4で使用したステンレス鋼板の荷重 - ストローク曲線を示す図である。

【図9】一般的な波付け加工法において金型で板材を成形する形態を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の具体的な実施形態について、詳細に説明するが、本発明は、以下の実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の目的の範囲内において、適宜変更を加えて実施することができる。

40

【0020】

本発明に係る製造方法で得られる連続波形状製品 10 は、図1に示すような曲線状の山と谷からなる連続波形状を有するもの、図2に示すような曲線状及び直辺状の山と谷から

50

なる連続波形状を有するものがある。隣接する山と山との間隔、又は隣接する谷と谷との間隔を1ピッチという。図1の場合、曲線部11'が連続する形状であるが、曲線の変曲点に相当する位置で山から谷へ移行し、谷から山へ移行することから、山から谷へ移行する変曲点同士の間隔が1ピッチに相当する。また、図2の場合は、曲線状の曲線部11'と直線状の直辺部12'とが連続する形状であるが、図2に示すように、曲線部11'の一端を起点として、隣接する曲線部11'の一端との間隔が1ピッチに相当する。

【0021】

[金型の形状]

金型の凸部及び凹部は、上記のような連続波形状に対応する凹凸形状で構成されている。金型における凸部及び凹部についても、1ピッチは、図1、図2と同様の間隔で特定することができる。例えば、図1の連続波形状製品を成形する金型は、曲線部11を有する凹部及び凸部からなり、1ピッチは、山から谷へ移行する曲線部11の一端と隣接する曲線部11の一端との間隔に相当する。図2の連続波形状製品を成形する金型は、曲線部11及び直辺部12を有する凸部及び凹部からなり、1ピッチは、同様に、山から谷へ移行する曲線部11の一端と隣接する山から谷へ移行する曲線部11の一端との間隔に相当する。

10

【0022】

図3は、本発明に係る製造方法で使用する金型1と成形材料4との関係を説明するための模式図である。金型1は、凸部2又は凹部3を有する1対の型からなり、凸部2又は凹部3の曲線部11における中心角 θ_5 の半分の角度を θ_0 とし、成形材料4と金型1とが、凸部2又は凹部3における曲線部の一端から凸部2の頂部又は凹部3の底部に向かって角度 θ_1 の範囲で接触するとき、前記 θ_1 と前記 θ_0 との比である θ_1/θ_0 は、 θ_1/θ_0 が0.4を超え0.9以下であり、前記成形材料は、前記金型の前記凸部及び前記凹部と前記 θ_1 の範囲で接触して成形される。なお、本発明は、この範囲で接触しても成形材料が加圧成形されるに至らない場合は含まないものとする。

20

【0023】

波付き加工には、例えば図9に示すように、凹凸部が交互に連続した形状の金型が用いられる。金型の凸部又は凹部は、その頂部又は底部を中心として所定の曲率半径で湾曲する曲線部(曲げ部)を有している。本明細書では、凸部又は凹部の各曲線部における一端から他端までを占める角度を「中心角」という。すなわち、上記の中心角 θ_5 は、凸部2又は凹部3の曲線部11において両端に広がる角度に相当する。凸部2の頂部又は凹部3の底部の中央を通る中心線6の両側に広がる角度に相当するとしてもよい。上記の θ_0 は、当該中心角 θ_5 の半分の角度に該当する。

30

上記の θ_1 は、曲線部11の一端から曲線部の頂部又は底部に向かう特定の角度範囲に相当し、その範囲では成形材料4と金型1とが接触して成形される。この曲線部11の一端とは、上記中心角を構成する曲線部における上記の一端あるいは他端の少なくとも一方を含む部位を意味する。

具体的な金型形状としては、例えば、図3に示すように、凸部の頂部又は凹部の底部付近が平坦状に形成された構造を備えたものがある。また、図4に示すように、凸部及び凹部の曲線部における曲率半径を変えたものがある。

40

【0024】

θ_1/θ_0 の下限は、0.4を超えていればよく、0.5以上であることが好ましく、0.7以上であることがより好ましく、0.8以上であることがさらに好ましい。なお、成形材料と金型が凸部又は凹部の曲線部における一端で接していなくて、凸部又は凹部の頂部又は底部付近だけで接するときは、本発明における θ_1 は零とする。そのため、 θ_1/θ_0 も零になる。

連続波形状製品における山と谷の曲率半径を R_p とし、金型1における凸部及び凹部の曲率半径を R_m としたとき、スプリングバック量(弾性回復量)は、 R_p/R_m で示すことができる。 θ_1/θ_0 が小さすぎると、金型の接触範囲が小さくて滑らかな曲率形状を得ることができない。また、当該 R_p/R_m が大きくなり、成形材料に対し、所望の曲率

50

形状となるように形成できず、形状不良になる可能性があるため、好ましくない。そして、弾性回復量を低減させてスプリングバックを抑制するには、高い荷重を加える必要がある。そのため、 r_1 / r_0 は、0.4超が好ましい。

【0025】

r_1 / r_0 の上限は、0.9以下であれば特に限定されるものではない。 r_1 / r_0 が大きすぎると、形状凍結性に有効でない曲げ部の先端部にも荷重が付与され、成形材料は、金型の凸部又は凹部と接触する割合が増加し、成形材料に加わる面圧が相対的に低下する。その結果、曲げ部全体でスプリングバックを抑制して所望の形状を得るために荷重を増加させなければならない。また、成形荷重の増加は、金型への負荷を高めるので、金型の寿命に影響する。そのため、 r_1 / r_0 は、0.9以下が好ましい。

10

【0026】

成形材料は、原板に曲げ加工が施されて、曲線部及びノ又は直辺部を含む曲げ部に成形される。本発明は、特定の金型形状を用いることにより、当該曲げ部における先端部の周囲領域に対して曲げ方向の引張応力及び板厚方向の圧縮応力が付与される。その結果、低荷重であっても曲げ部全体で適度なスプリングバック抑制作用が得られ、形状凍結性に優れた成形方法を提供することができる。当該曲げ部の先端部まで成形材料を金型と接触させて加圧することを必要としない。本発明に係る金型は、金型による成形材料の圧縮箇所を制御し、必要とされる成形荷重を低減できる点で、従来の金型形状と異なるといえる。

【0027】

[成形材料]

本発明に係る成形材料の種類は、特に限定されない。例えば、鋼、ステンレス(SUS)鋼の板材に適用できる。そのほかのFe合金、Cu、Cu合金、Al、Al合金等にも適用できる。

20

【0028】

成形材料の板厚 t は、特に限定されるものではない。金型の凸部における頂部の曲率半径を R_1 、金型の凹部における底部の曲率半径を R_2 とすると、 $(R_2 - R_1) / t$ が1未満とすることが好ましく、すなわち、板厚 t が $(R_2 - R_1)$ よりも大きくなるように板厚 t を定めることが好ましい。

【0029】

図4は、成形材料4における曲げ部の先端部(以下、「曲げ先端部」と略称することもある。)と金型1との加工形態に関して、 $(R_2 - R_1) / t$ の数値により接触状態を区分して示した模式図である。成形材料4の曲げ先端部とその周囲領域を拡大して示している。金型1の凸部2及び凹部3の形状に応じて、成形材料4は、金型1と接触する部位が変化し、異なる接触状態の加工形態で成形加工が行われる。

30

【0030】

例えば、図4の(b)は、成形材料の曲げ部全面が凸型と凹型により加圧される従来の加工形態である。凸型2と凹型3は、各曲線部が略同心円状に配置され、成形材料4が凸型2と凹型4の間で挟持されるので、凹部の曲率半径 R_2 は、凸部の曲率半径 R_1 よりも成形材料の板厚 t の分だけ大きい。凹型と凸型による曲げ加工においては、 $R_2 = R_1 + t$ の関係が成り立つから、図4(b)は、板厚 t が $(R_2 - R_1)$ に等しく、 $(R_2 - R_1) / t$ が1である加工形態であり、この場合は、成形材料の全面が金型に接触する態様に相当する。

40

このように成形材料と金型との接触状態は、 $(R_2 - R_1) / t$ の範囲によって区分できる。成形材料の一部が金型に接触するときは、 $(R_2 - R_1) / t$ を1以外となるような形状の金型を使用すればよい。

【0031】

図4の(a)に示すように、板厚 t が $(R_2 - R_1)$ よりも大きく、 $(R_2 - R_1) / t$ が1未満である接触状態での加工形態で成形される場合、成形材料4は、曲げ先端部の周囲領域だけで金型1の凸部2又は凹部3と接触する状態にあり、曲げ先端部が金型と接触して加圧されることを確実に回避できる。そのため、成形材料4に付与される荷重を小

50

さく抑えることができる。

【0032】

それに対し、図4の(b)に示すように、板厚 t が $(R_2 - R_1)$ に等しく、 $(R_2 - R_1) / t$ が1である接触形態では、成形途中の段階で、曲げ先端部に十分な引張歪が付与されるが、曲げ先端部の周囲領域を含む成形材料4の全面にわたって、金型1と成形材料4とが接触状態にある。そのため、成形材料4に付与される面圧が低下する。スプリングバックを抑制して所望の形状となるよう成形するには、成形材料4に付与される荷重を高くする必要があり、好ましくない。

【0033】

また、図4の(c)に示すように、板厚 t が $(R_2 - R_1)$ よりも小さく、 $(R_2 - R_1) / t$ が1を超える接触状態での加工形態で成形される場合、成形材料4は、一部の面で金型に接触するものの、曲げ先端部だけが金型1の凸部2又は凹部3と接触状態にあり、周囲領域は金型の加圧力が及んでいない。そのため、周囲領域には、曲げ方向の引張応力及び板厚方向の圧縮応力のいずれも十分に付与されず、曲げ部全体のスプリングバックを抑制できないので、好ましくない。

【0034】

本明細書において、 R_1 、 R_2 は、輪郭形状測定機(Mitsutoyo製CONT RACER CV-2000)によって、曲線部に内接する最大の円の半径を測定することによって得られる値である。

【0035】

[弾性回復量]

成形後のスプリングバックに関する形状凍結性については、弾性回復量 R_p / R_m を指標として評価することができる。弾性回復量 R_p / R_m が小さいほど、スプリングバックによる形状不良が抑制され、形状凍結性に優れることを示す。具体的には、弾性回復量 R_p / R_m は、4以下が好ましく、より好ましくは3.7以下であり、3.4以下がさらに好ましい。

【0036】

本明細書において、 R_p 、 R_m は、輪郭形状測定機(Mitsutoyo製CONT RACER CV-2000)によって、曲線部に内接する最大の円の半径を測定することによって得られる値である。

【0037】

[成形加工の荷重]

成形加工する際の荷重は、特に限定されるものではない。成形中に、金型及び成形材料に付与される負荷を軽減する観点からは、弾性回復量を抑制して所定の連続波形状を成形できる範囲で、成形加工の荷重は小さくすることが好ましい。

【0038】

必要な荷重を設定する手法としては、成形材料の自由曲げ荷重を求め、この自由曲げ荷重に基づいて成形加工を行う荷重を定めることができる。「自由曲げ」は、一般に、成形材と金型とが接触する部位において、支点、力点及び作用点の3要素からなる曲げが実現される加工形態をいう。例えば、図5に示すように、ダイ21の上に載置した板材22をポンチ20で加圧し、V字状に曲げる加工形態である。板材22において、ポンチ20と接する部位が支点に相当し、支点の裏側が作用点に相当し、ダイ21と接する部位が力点に相当する。U字状やL字状の曲げ加工においても、自由曲げの加工形態が得られる。この自由曲げに要する加圧力(荷重)が自由曲げ荷重であり、本明細書においては、自由曲げ荷重における最大荷重を自由曲げ荷重Pということにする。

【0039】

この自由曲げ荷重Pは、図5に示す曲げ試験で得られる荷重-プレスストローク曲線から求めることができる。図6は、縦軸を荷重(kN)、横軸をプレスストローク(mm)とする荷重-プレスストローク曲線の一例を示した図である。加圧スライドを降下するにつれて、負荷荷重が増加する変化を示している。自由曲げによる加工段階では、荷重の増

10

20

30

40

50

加にともない、ほぼ直線的な一次曲線に沿って曲げ加工が進行する。荷重がさらに増加し、成形材料がパンチとダイの間で圧縮されるコイニング曲げの加工段階に入ると、荷重 - プレスストローク曲線が急激に立ち上がる二次曲線に移行する。そこで、自由曲げ荷重 P は、荷重 - プレスストローク曲線における一次曲線と二次曲線の境界位置に相当する荷重として定義することができる。図 6 の例では、自由曲げ荷重 P は、約 2 kN であった。

【0040】

本発明において成形加工の荷重は、良好な形状凍結性を維持しつつ所望の連続波形状を成形する点で、自由曲げ荷重 P の 10 倍を超える範囲で選択することが好ましく、より好ましくは 17 倍以上である。10 倍を下回ると、実用上必要な形状や公差が得られないので、好ましくない。本発明は、従来の成形加工法と比べて加工に要する荷重を低減することができるので、金型及び成形材料に与える負荷を大幅に軽減できる。

10

【0041】

また、自由曲げ荷重 P (単位: kN) は、以下の Romanowski の式で近似的に算出できることが知られている。

$$P = C \times B \times w \times t \quad \dots \text{式 (1)}$$

【0042】

式 (1) において、 C は加工形態に依存する定数、 B は成形材料の引張強さ (単位: N/m^2)、 w は成形材料の幅 (単位: mm)、 t は成形材料の厚さ (単位: mm) である。

【0043】

図 7 は、定数 C と $2L/t$ との関係を示したものである。 $2L$ (単位: mm) は、試験機のダイ肩幅を示す。炭素鋼、アルミニウム、黄銅などの金属材料からなる、軟質材、硬質材及び炭素鋼 (0.3 ~ 0.4% C) の 3 グループについて、定数 C と $2L/t$ との関係が、曲線で示されている。3 つの曲線は、ほぼ同じ傾向を示していることから、その加工形態 ($2L/t$) が同じであれば、式 (1) の定数 C は、材質の種類に依らず、ほぼ一定であり、曲げ部の大きさ ($2L$) 及び板材の厚さ (t) によって決まることが分かる。

20

【0044】

そこで、曲げ加工用の金型と板厚 t の成形材料を用いて荷重 - プレスストローク曲線を作成し、当該成形材料の自由曲げ荷重 P を求める。 P 、 B 、 w 、 t の数値を用いて、式 (1) から定数 C を算出する。次に、異なる組成の成形材料を用いて、同じ金型で曲げ加工を行う場合は、荷重 - プレスストローク曲線を作成する代わりに、式 (1) から自由曲げ荷重 P を簡便に求めることができる。

30

【0045】

本発明に係る製造方法で得られる連続波形状製品 10 は、図 1 に示すように、曲線状の山と谷からなる連続波形状を有していてもよい。図 2 に示すように、曲線状及び直辺状の山と谷からなる連続波形状を有していてもよい。

【実施例】

【0046】

以下、実施例により本発明を具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

40

【0047】

< 実施例 1 >

市販のステンレス鋼板に対し、凸部又は凹部を有する 1 対の型からなる金型を用いて 70 kN 又は 100 kN の荷重を付与して、曲線状の山と谷を含む連続波形状を成形する曲げ加工を行った。

【0048】

使用したステンレス鋼板の組成は、C : 0.07 質量%、Si : 0.60 質量%、Mn : 0.87 質量%、P : 0.031 質量%、S : 0.005 質量%、Ni : 8.04 質量%、Cr : 18.26 質量%、残部が Fe 及び不可避免的不純物である。板厚は 0.4 mm である。

50

【 0 0 4 9 】

金型の凸部又は凹部の曲線部における中心角の半分の角度を θ_0 、ステンレス鋼板と金型とが凸部又は凹部における曲線部の一端から凸部の頂部又は凹部の底部に向かって接触する範囲を θ_1 とするとき、 θ_1 / θ_0 を 5 種類の条件で得られるように金型を用意して、曲げ加工を行った。 θ_1 / θ_0 は、0.4, 0.5, 0.7, 0.9 及び 1.0 で加工された試験材について、その弾性回復量 R_p / R_m を測定し、形状凍結性の良否に関して評価した。弾性回復量 R_p / R_m が 3.4 以下の場合を「優良 ()」、3.4 を超えて 3.7 の場合を「良好 ()」、3.7 を超え 4.0 以下の場合を「普通 ()」、4.0 を超える場合を「不良 (x)」と判定した。その試験結果を表 1 に示す。

【表 1】

	比較例	実施例			比較例	
	1-1	1-1	1-2	1-3	1-2	1-3
θ_1 / θ_0	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.0
荷重 (kN)	70	70	70	70	70	100
R_p / R_m	x	○	○	◎	△	◎

10

20

【 0 0 5 0 】

θ_1 / θ_0 が 0.4 を超え 0.9 以下の範囲にすることで、少ない荷重であっても形状凍結性に優れた連続波形状製品を得られることが分かる (実施例 1 - 1、実施例 1 - 2、実施例 1 - 3)。

【 0 0 5 1 】

一方、 θ_1 / θ_0 が小さすぎると、弾性回復量 R_p / R_m が大きいことから、ステンレス鋼板に対し、所望の曲げ部を形成できず、形状凍結性に劣る (比較例 1 - 1、比較例 1 - 2)。また、 θ_1 / θ_0 が大きすぎると、所望の形状を得るには、ステンレス鋼板に対して高い荷重を付与することを要する (比較例 1 - 3)。さらに、金型への負荷が高まるので、金型の変形や破損を招く可能性があり、金型の寿命に影響する。そのため、実施例に比べて、コストや生産性の点で好ましくない。

30

【 0 0 5 2 】

< 実施例 2 >

荷重を 64 kN 又は 90 kN にしたこと以外は、実施例 1 と同様の条件で、曲げ加工を行った。その試験結果を表 2 に示す。

【表 2】

	比較例	実施例			比較例	
	2-1	2-1	2-2	2-3	2-2	2-3
θ_1 / θ_0	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.0
荷重 (kN)	64	64	64	64	64	90
R_p / R_m	x	○	○	◎	△	◎

40

50

【 0 0 5 3 】

荷重を変えた場合であっても、実施例 1 と同様の結果が得られた。 θ_1 / θ_0 を、0.4 を超え 0.9 以下の範囲にすることで、少ない荷重であっても形状凍結性に優れた連続波形状製品を得られることが分かる（実施例 2 - 1、実施例 2 - 2、実施例 2 - 3）。

【 0 0 5 4 】

一方、 θ_1 / θ_0 が小さすぎると、弾性回復量 R_p / R_m が大きいことから、ステンレス鋼板に対し、所望の曲げ部を形成できず、形状凍結性に劣る（比較例 2 - 1、比較例 2 - 2）。また、 θ_1 / θ_0 が大きすぎると、所望の形状を得るには、ステンレス鋼板に対して高い荷重を付与することを要する（比較例 2 - 3）。さらに、金型への負荷が高まるので、金型の変形ゆや破損を招く可能性があり、金型の寿命に影響する。そのため、実施例に比べて、コストや生産性の点で好ましくない。

10

【 0 0 5 5 】

< 実施例 3 >

荷重を 70 kN にしたこと、及び新たにパラメータ $(R_2 - R_1) / t$ を設け、このパラメータを 0.8、1.0 及び 1.2 の 3 種類にしたこと以外は、実施例 1 と同様の条件にて曲げ加工を行った。実施例 3 において、 t は、ステンレス鋼板の板厚であり、 R_1 は、凸部における頂部の曲率半径であり、 R_2 は、凹部における底部の曲率半径である。弾性回復量 R_p / R_m に係る判定は、実施例 1 と同様である。試験結果を表 3 に示す。

【 表 3 】

	実施例 3-1	比較例 3-1	比較例 3-2
θ_1 / θ_0	0.7	1.0	0.0
$(R_2 - R_1) / t$	0.8	1	1.2
金型への接触状態	図 4 (a)	図 4 (b)	図 4 (c)
R_p / R_m	○	△	×

20

30

【 0 0 5 6 】

$(R_2 - R_1) / t$ を 1 未満にすることで、少ない荷重であっても、弾性回復量 R_p / R_m が小さくなり、形状凍結性に優れた形状の連続波形状製品を得られることが分かる（実施例 3 - 1）。

【 0 0 5 7 】

一方、 $(R_2 - R_1) / t$ が大きくなるにつれて、弾性回復量 R_p / R_m が大きくなる。 $(R_2 - R_1) / t$ が大きすぎると、ステンレス鋼板に形状精度よく曲げ形状を付与できず、形状凍結性に劣ることが分かる（比較例 3 - 1 及び 3 - 2）。

【 0 0 5 8 】

< 実施例 4 >

連続波形状製品を得るために必要な最小の荷重を検討した。表 4 に示す組成（残部は Fe 及び不可避的不純物である）及び表 5 に示す機械的性質と厚さを有する 4 種のステンレス鋼板を用いて、所定の加工を行い、ステンレス鋼板 a ~ d を得た。

40

【 0 0 5 9 】

【表 4】

試料	鋼種	組成 (単位: 質量%)						
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
a	SUS304	0.07	0.48	0.97	0.030	0.004	8.06	18.41
b	SUS304 1/2H	0.07	0.46	0.91	0.032	0.003	8.03	18.12
c	SUS304 3/4H	0.06	0.42	0.77	0.027	0.005	8.05	18.20
d	SUS304 H	0.07	0.60	0.87	0.031	0.005	8.04	18.26

10

【0060】

【表 5】

試料	0.2 耐力 YS (N/mm ²)	引張強さ TS (N/mm ²)	伸び EL (%)	硬度 HV	厚さ t (mm)
a	258	661	62	163	0.4
b	667	857	34	283	0.4
c	837	1019	29	316	0.4
d	1053	1195	6	378	0.4

20

30

【0061】

表 5 において、0.2% 耐力 (YS)、引張強さ、伸びは、JIS Z 2241 に準拠して、JIS 5 号引張試験片を用いた引張試験によって求められた値である。硬度 (HV) は、JIS Z 2244 に準拠して測定された値である。

【0062】

ステンレス鋼板 c (素材幅 w : 56 mm、厚さ t : 0.4 mm) に対し、実施例 1 と同じ金型を用いて曲げ加工を行い、荷重 - ストローク曲線を作成した。その結果は、図 8 に示すとおりである。ストロークを開始した後、荷重は、一次曲線に沿って変化し、途中から二次曲線に変化している。この一次曲線と二次曲線との境界位置における荷重によると、ステンレス鋼板 c の自由曲げ荷重 P は、1.8 kN であった。

40

【0063】

Romanowski の式 (1) は、次のとおりである。

$$P = C \times B \times w \times t \quad \dots \text{式 (1)}$$

【0064】

式 (1) に、自由曲げ荷重 P = 1.8 kN、ステンレス鋼板 c の幅 w = 56 mm、ステンレス鋼板 c の引張強さ $B = 1019 \text{ N/mm}^2$ 、板厚 t = 0.4 mm を代入した。その結果、定数 C は、0.08 の数値が得られた。実施例 4 における形状凍結性に関する判

50

定には、ステンレス鋼板 a、b、d についても $C = 0.08$ を採用することができる。

【0065】

$C = 0.08$ を採用し、残り3種のステンレス鋼板 a、b 及び d について自由曲げ荷重 P を求めた。その結果、ステンレス鋼板 a の自由曲げ荷重 P は、1.2 kN であり、ステンレス鋼板 b の自由曲げ荷重 P は、1.5 kN であり、ステンレス鋼板 d の自由曲げ荷重 P は、2.1 kN であった。

【0066】

そして、4種のステンレス鋼板 a ~ d について、荷重を自由曲げ荷重 P の 10 倍、17 倍及び 35 倍にしたこと以外は、実施例 1 と同じ手法にて、連続波形状の曲げ加工を行った。弾性回復量 R_p / R_m に係る判定は、実施例 1 と同様である。試験結果を表 6 に示す。表 6 に示した荷重は、自由曲げ荷重 P に所定倍率を掛けて算出した数値である。

10

【表 6】

試料	自由曲げ荷重 P (kN), 倍率, 荷重 (kN)						
	P	10 倍	荷重	17 倍	荷重	35 倍	荷重
a	1.2	◎	12	◎	20	◎	42
b	1.5	◎	15	◎	26	◎	53
c	1.8	○	18	○	31	◎	63
d	2.1	×	21	○	36	○	74

20

【0067】

表 5 から、成形加工の荷重が自由曲げ荷重 P の 17 倍以上である場合、ステンレス鋼板の組成にかかわらず、弾性回復量 R_p / R_m が 4.0 以下であり、好適な形状凍結性が得られることが分かる。これは、成形加工の荷重が自由曲げ荷重 P の 17 倍以上であると、ステンレス鋼板の物性にかかわらず、ステンレス鋼板に対して形状精度の良い連続波形状を付与できることを示している。

30

【0068】

ステンレス鋼板 d は、実施例 1 ~ 3 と同じ材質の板材である。表 6 によると、良好な形状凍結性を維持するのに必要な成形荷重は、実施例 1 ~ 3 で用いた荷重の半分程度に抑えられた。そのため、金型及びステンレス鋼板に及ぼす負荷を大幅に軽減できた。このように、自由曲げ荷重 P を基準にすることにより、良好な形状精度で連続波形状製品を成形するのに適した荷重を簡単に設定することができる。

【0069】

また、ステンレス鋼板の機械的性質に関して、0.2% 耐力 (YS)、引張強さ (TS)、伸び (EL) 及び硬度 (HV) を調整することにより、成形加工の荷重を低く抑えることができる。例えば、ステンレス鋼板 a、b は、0.2% 耐力 (YS)、引張強さ (TS)、伸び (EL) 又は度 (HV) がステンレス鋼板 c、d よりも低い範囲にあり、負荷荷重に対する変形抵抗が低い素材である。表 5 によると、本発明の条件で成形加工することにより、優れた形状凍結性を維持しつつ、自由曲げ荷重 P の 10 倍という低い成形荷重で加工できることが分かる。

40

【符号の説明】

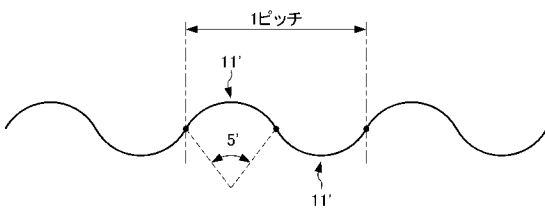
【0070】

- 1 金型
- 2 凸部

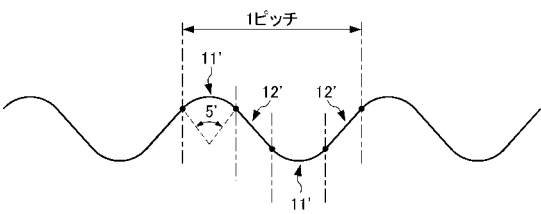
50

- 3 凹部
- 4 成形材料
- 5、5' 中心角
- 6 中心線
- 10 連続波形状製品
- 11、11' 曲線部
- 12、12' 直辺部
- 20 パンチ
- 21 ダイ
- 22 板材
- L 成形材料と金型との接触部

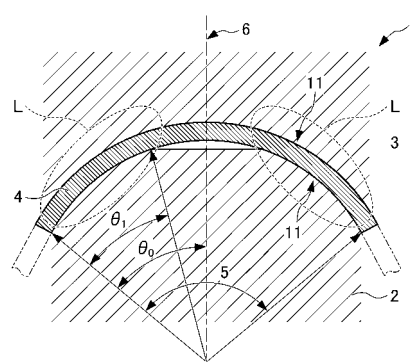
【図1】



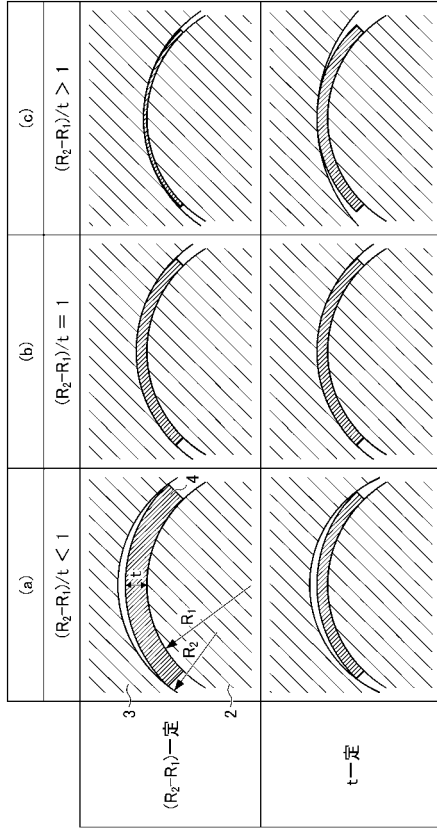
【図2】



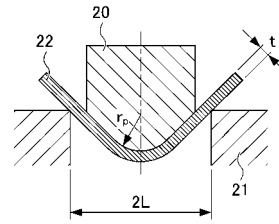
【図3】



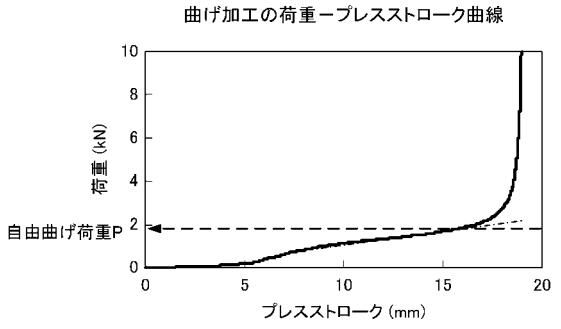
【 図 4 】



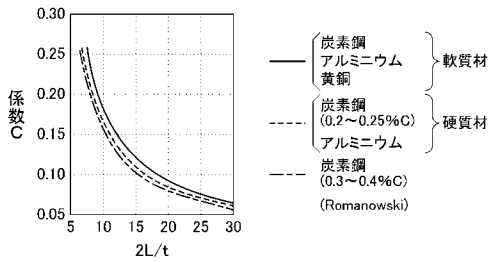
【 図 5 】



【 図 6 】

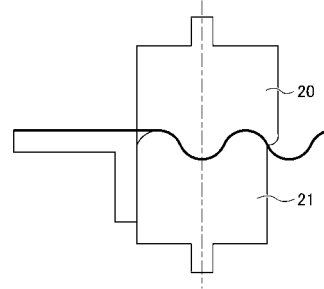


【 図 7 】



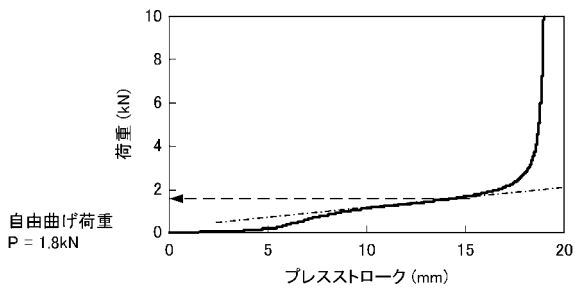
【 図 9 】

(a) 曲線部を有する製品の波付け加工



【 図 8 】

ステンレス鋼板cの荷重-プレストローク曲線



(b) 曲線部及び直辺部を有する製品の波付け加工

