

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4305645号
(P4305645)

(45) 発行日 平成21年7月29日(2009.7.29)

(24) 登録日 平成21年5月15日(2009.5.15)

(51) Int.Cl.

F 1

B 21 D 22/00 (2006.01)
B 21 D 22/22 (2006.01)B 21 D 22/00
B 21 D 22/22

請求項の数 2 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2003-374752 (P2003-374752)
 (22) 出願日 平成15年11月4日 (2003.11.4)
 (65) 公開番号 特開2005-138119 (P2005-138119A)
 (43) 公開日 平成17年6月2日 (2005.6.2)
 審査請求日 平成18年4月24日 (2006.4.24)

(73) 特許権者 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 100068618
 弁理士 畠 経夫
 (74) 代理人 100093193
 弁理士 中村 壽夫
 (74) 代理人 100104145
 弁理士 宮崎 嘉夫
 (74) 代理人 100109690
 弁理士 小野塚 黒
 (72) 発明者 萩森 秀夫
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】板成形のシミュレーション方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

成形ストロークに応じた金型のたわみ分布を求めるステップと、

当該たわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の金型表面の節点に対し強制変位条件として与えて、当該板成形シミュレーションを行うステップと、

それによって得られる成形荷重が所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重と一致するまで、前記金型のたわみ分布を変えることなく、金型全体の変位量を変えるステップとからなることを特徴とする板成形のシミュレーション方法。

【請求項 2】

成形ストロークに応じて金型のしわ抑え荷重を与える部分のたわみ分布を求めるステップと、

当該たわみ相当分を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の前記しわ抑え荷重を与える部分の表面の節点に対し、強制変位条件として与えるステップと、

金型の前記しわ抑え荷重を与える部分を除いた部分を剛体と仮定して所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重を与え、当該板成形シミュレーションを行うステップとからなることを特徴とする板成形のシミュレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、板成形品の形状を有限要素法 (Finite Element Method : 以下、「FEM」)

10

20

」という。)を用いて高精度かつ効率的に解く方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、板成形品のスプリングバックによる形状精度不良は、金型補正工数や生産準備リードタイムへの悪影響が大きく慢性的な問題となっているが、FEMによるスプリングバックの予測は、自動車のボディー部品のように複雑な形状へ直接応用できるものであり、その適用が期待されている。しかしながら、以前はFEMによるスプリングバックの予測形状と実験結果を比較した事例の多くは、二次元形状に留まっていたことから、三次元若しくは複雑形状で高精度にスプリングバックを予測できる技術の確立が望まれていた。

10

そこで、板成形をシェル要素(シミュレーション解析では、構造体の大きさと材料の厚さとの関係から材料の厚みを無視した板状で解析できる場合、構造体を薄板状に分割するが、これをシェル要素と呼ぶ。)でモデル化し、かつ、金型のたわみをソリッド要素(シミュレーション解析では、構造体をたて・よこ・高さ方向に細かく分割し、各直方体の力学的变化を表現し解析するが、これをソリッド要素と呼ぶ。)でモデル化し、同時に解く方法が考えられている(例えば、非特許文献1参照。)。

また、同様の課題を、静的溶解法により解決する手法も発明されている(例えば、非特許文献2参照。)。

【0003】

【非特許文献1】薦森 秀夫、他5名、”3次元モデルへの適用(FEMによるスプリングバック予測に関する研究 第4報)”、財団法人塑性加工学会、平成13年度塑性加工春季講演会講演論文集 p.7-8

20

【非特許文献2】高村 正人、他4名、”静解析FEMによる金型弹性変形を考慮した板成形シミュレーション”、財団法人塑性加工学会、平成15年度塑性加工春季講演会講演論文集 p.11-12

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来のシミュレーション方法には、何れも、次のような欠点があった。すなわち、プレス成形のように複雑な接触を伴う解析であっても、接触問題に頑強な動的陽解法を用いれば、金型モデルをソリッド要素でモデル化し、たわみを考慮しながら同時に板成形シミュレーションを行うことは可能である。

30

ここで、動的陽解法とは、衝突、振動のように動的な問題を扱う為の手法で、動的な釣り合いを加速度の項を含んだ仮想仕事の原理式を用いて解く手法である。この動的陽解法は、時間増分ステップ(有限要素シミュレーションにおいて、金型を少しづつ進めること。)毎の計算が速い為、プレス成形シミュレーションに適用され得るものである。

しかし、欠点として、解が時間とともに変動している為、静的釣り合いを解くスプリングバックの計算には向いていないという特徴がある。しかも、動的陽解法による場合には、板成形で重要な金型ダイアール部分の有限要素を細かく再現する必要があり、この金型ダイアール部分の有限要素の大きさを、素材(板)の有限要素の、1/10~1/20以下のサイズにせざるを得ない。すると、動的陽解法の特徴から、時間増分ステップが剛体を除く全モデルの要素の最少サイズ(有限要素の有効長さ)に比例することから、剛体と仮定した場合の金型モデルと比較し、時間増分ステップが極端に小さくなってしまう。さらに、膨大な数の金型のソリッド要素の計算が必要となることから、例えば、自動車部品の車体パネル等の大型のプレス製品を対照とする場合には、非現実的な計算時間となってしまい、実用に耐えないシミュレーション方法となってしまう。

40

【0005】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、板成形品の形状を、FEMを用いて高精度かつ効率的に解くことを可能とし、板成形品のスプリングバック等、形状精度不良を確實に回避することにある。

50

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するための、本発明の請求項1に係る板成形のシミュレーション方法は、成形ストロークに応じた金型のたわみ分布を求めるステップと、当該たわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の金型表面の節点に対し強制変位条件として与えて、当該板成形シミュレーションを行うステップと、それによって得られる成形荷重が所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重と一致するまで、前記金型のたわみ分布を変えることなく、金型全体の変位量を変えるステップとからなることを特徴とするものである。

【0007】

10

本発明では、成形ストロークに応じた金型のたわみ分布を求めるステップにおいて、当該たわみ分布を正確に求めておく。その手法としては、高精度が保証されたシミュレーションや、測定装置を用いることができる。

そして、当該たわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の金型表面の節点に対し強制変位条件として与えて、当該板成形シミュレーションを行うステップにおいて、正確に求めたたわみ分布を考慮した板成形シミュレーションを行う。

さらに、それによって得られる成形荷重が所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重と一致するまで、前記金型のたわみ分布を変えることなく、金型全体の変位量を変えるステップにおいて、成形荷重の目標値と計算値との比較、検証を行い、理想的な成形荷重条件下における板成形シミュレーションを行うことで、板成形品の形状をシミュレーションすることができる。

【0008】

20

また、上記課題を解決するための、本発明の請求項2に係る板成形のシミュレーション方法は、成形ストロークに応じて金型のしわ抑え荷重を与える部分のたわみ分布を求めるステップと、当該たわみ相当分を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の前記しわ抑え荷重を与える部分の表面の節点に対し、強制変位条件として与えるステップと、金型の前記しわ抑え荷重を与える部分を除いた部分を剛体と仮定して所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重を与え、当該板成形シミュレーションを行うステップとからなることを特徴とするものである。

【0009】

30

本発明では、成形ストロークに応じた金型のたわみ分布を求めるステップにおいて、当該たわみ分布を正確に求めておく。その手法としては、高精度が保証されたシミュレーションや、測定装置を用いることができる。

そして、当該たわみ相当分を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の前記しわ抑え荷重を与える部分の表面の節点に対し強制変位条件として与えて、当該板成形シミュレーションを行うステップにおいて、正確に求めたたわみ分布を考慮した、板成形シミュレーションを行うものである。ここで、金型の前記しわ抑え荷重を与える部分を除いた部分を剛体と仮定していることから、成形荷重の目標値と計算値との比較、検証は不要である。

【発明の効果】

40

【0010】

本発明はこのように構成したので、板成形品の形状を、FEMを用いて高精度かつ効率的に解くことが可能となり、板成形品のスプリングバック等、形状精度不良を確実に回避することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の実施の形態を添付図面に基づいて説明する。

本発明の実施の形態では、図1の(a)~(c)に示すステップによって、プレス成形中の金型たわみ分布を得るものである。具体的には、次のようになる。

(a)ステップ：金型を剛体と仮定して金型表面のみシェル要素としてモデル化し、動的

50

陽解法により板成形シミュレーションを行う。

(b) ステップ：後の(c)ステップで行う、静的陰解法による金型剛性シミュレーションのために、金型を弾性体と仮定してソリッド要素としてモデル化し、当該モデルの節点位置に、(a)ステップの板成形シミュレーションの際に求めた金型メッシュの節点反力を内・外挿(当てはめ)する。

(c) ステップ：実際に、静的陰解法による金型剛性シミュレーションを行う。

【0012】

さらに、本発明の実施の形態では、上記(a)～(c)のステップに沿って行ったシミュレーションにより得られたプレス成形中の金型たわみ分布を、(d)ステップまたは(e)ステップに活用し、プレス成形中の金型たわみを考慮したシミュレーションを行うことが可能となる。 10

【0013】

図2には、プレス成形中の金型たわみを考慮した、板成形のシミュレーション方法の一例を示している。まず、図1の(a)～(c)ステップに示した手順に沿って、シミュレーションにより、成形ストロークに応じた金型たわみ分布を求める。このとき、金型の位置と時間との関数として、金型たわみ分布を求めておく。また、後述の手法によって、測定により金型たわみ分布を求めることが可能である。

(d - 1) ステップ：(a)～(c)ステップを一例とするシミュレーション方法により求めた、金型のたわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の、金型表面の節点に対し強制変位条件として与える(板成形用メッシュにマッピングする。)。このときの強制変位の量は、自動車パネル用プレス成形金型の場合には、通常、0.3～。4mm程度である。 20

(d - 2) ステップ：実際に、動的陽解法によって板成形シミュレーションを行う。

【0014】

(d - 3) ステップ：(d - 2)ステップで行った板成形シミュレーションの結果、求められる成形荷重をチェックする。具体的には、図3に示すように、所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重T(金型を剛体と仮定した場合に、計算によって求まる。)と、(d - 1)ステップで与えた金型のたわみ分布(強制変位条件)に基づき、(d - 2)ステップで得られた成形荷重の計算値Cと、を比較、検証する。図3のごとく、目標の成形荷重Tに比して、計算値Cが小さい場合には、金型のたわみ分布を変えることなく、金型全体の変位量を変える(上下型をより接近させる。)。そして、(d - 2)ステップに戻り、再度、動的陽解法によって板成形シミュレーションを行う。この(d - 2)ステップと(d - 3)ステップとのループは、計算値Cが目標の成形荷重Tとなるまで繰り返される。 30

(d - 4) ステップ：(d - 3)ステップで計算値Cが目標の成形荷重Tと一致したことを確認した時点で、プレス成形中の製品形状のシミュレーション結果を出力する。出力として得られるものは、例えば、プレス成形品の板厚分布や、スプリングバック量等が挙げられる。これらの出力値は、プレス成形中の金型たわみが考慮された、高精度なものとなる。

【0015】

一方、図4には、プレス成形中の金型たわみを考慮したシミュレーション方法の別例を示している。まず、図2に示すシミュレーション方法と同様に、図1の(a)～(c)ステップに示した手順に沿って、シミュレーションにより、成形ストロークに応じた金型たわみ分布を求める。また、後述の手法によって、測定により金型たわみ分布を求めることも可能である。 40

【0016】

(e - 1) ステップ：(a)～(c)ステップを一例とするシミュレーション方法により求めた、金型のたわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の、しづ抑え荷重を与える部分(かかる部分としては、シングルアクションプレスの場合はクッションリングであり、ダブルアクションプレスの場合は、プランクホルダーが相当する

) の表面の節点に対し強制変位条件として与える(板成形用メッシュにマッピングする。)。

(e 2) ステップ: 金型の前記しわ抑え荷重を与える部分を除いた部分(シングルアクションプレスの場合は上型が該当し、ダブルアクションプレスの場合には、上下型が該当する。)を剛体と仮定して、所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重を与える、当該板成形シミュレーションを行う。この場合には、金型の前記しわ抑え荷重を与える部分を除いた部分を剛体と仮定していることから、成形荷重の目標値と計算値とは必ず一致するので、図2の(d-2)、(d-3)ステップのごとき成形荷重のチェックは不要である。

(e 3) ステップ: プレス成形中の製品形状のシミュレーション結果を出力する。出力として得られるものは、図2の(d-4)ステップと同様である。 10

【0017】

なお、上記の各シミュレーションは、パーソナルコンピュータ等の電子計算機を用い、行うことができる。そして、図1に示す、プレス成形中の金型たわみ分布のシミュレーション方法によれば、(a)ステップで、金型を剛体と仮定して金型表面のみシェル要素としてモデル化し、動的陽解法により板成形シミュレーションを行っている。かかるステップでは、膨大な数の、金型のソリッド要素の計算を行うわけではないので、時間増分ステップ毎の計算が速いという動的陽解法の利点を発揮して、短時間で板成形シミュレーションの計算を終了することができる。

続く(b)ステップでは、(c)ステップで行う静的陰解法による金型剛性シミュレーションのために、金型を弾性体と仮定してソリッド要素としてモデル化し、当該モデルの節点位置に、前記板成形シミュレーションの際に求めた金型メッシュの節点反力を内・外挿する。 20

すなわち、動的陽解法による板成形シミュレーションと、静的陰解法による金型剛性シミュレーションとでは、各要素を構成する節点位置が自ずと異なってくることから、(a)ステップの板成形シミュレーションによって得られた板成形品のメッシュを構成する節点毎の反力(節点反力)を、弾性体と仮定してソリッド要素としてモデル化した金型の、各節点位置に内・外挿(当てはめ)するものである。なお、当該内・外挿作業は、シミュレーションにおける一般的な処理手順によって行うことができる。

【0018】

そして、(c)ステップにおいて、ソリッド要素としてモデル化した金型に対し、静的陰解法による金型剛性シミュレーションを行う。 30

ここで、静的陰解法が、有限要素法で時間増分ステップの終わりに応力の釣り合いを満たすように繰り返し計算をする時間積分法であることから、時間増分毎の計算結果を正確に得ることが可能となる。また、成形中の板材と金型各部との関係は、互いに常時接触しているか又は互いに常時離間している条件下にあると考えて良いことから、1の時間増分ステップ中、金型と板との接触状態が変化してしまうような場合に、釣り合い状態へ計算が収束しないといった、静的陰解法特有の不具合も生じない。

そして、動的陽解法に比べ遙かに少ない、静的陰解法の時間増分ステップ毎の解を、静的陰解法の特徴として正確に得ることにより、プレス成形中の金型たわみ分布を高精度かつ効率的に解くことができる。 40

【0019】

しかも、(c)ステップにおいて、(a)ステップで得られる金型表面に作用する面圧分布を、時間の関数として求めた値と、金型取り付け部の状態と、クッション荷重とを境界条件として、プレス成形中の金型たわみ分布を高精度かつ効率的に解くことができる。

また、プレス成形中の金型たわみ分布を求める手法としては、図1に示すシミュレーション方法に限らず、次に示す測定装置および測定方法によることも可能である。

【0020】

図5には、プレス成形中の金型変位量の測定装置を組み込んだプレス金型1の断面図を 50

示している。このプレス金型1を装着するプレスマシン50(図12参照)は、上型ラムの推進装置にリンク機構を用いたメカニカルプレスマシンである。メカニカルプレスマシンは、プレス成形時に、寸法値以上の追い込み量を上型に与え、プレスマシン50自体を撓ませつつ金型1に圧力加えることにより、必要なポンチ荷重を発生させるものである。

【0021】

本発明の実施の形態に係る測定装置は、プレス金型1に内蔵された、金型の特定部分間の変位量を検出する変位量検出手段2、3、4、5と、ポンチ荷重を検出する荷重検出手段6とを備えている。

そして、変位量検出手段2、3、4は、何れも渦電流センサによって構成されている。
このうち、変位量検出手段2は、下型7に対しスライドガイド8を介して上下方向に移動可能に支持されたクッションリング9と、下型7に対し固定されたポンチ10との間の、水平方向の距離を測定するものである。そして、変位量検出手段2に係る渦電流センサは、ポンチ10の適当な鉛直面10aを感知面としており、渦電流センサの本体は、プレス成形中も鉛直面10aに対向する姿勢を維持するように、ブラケットを介してクッションリング9に強固に固定されている。

【0022】

また、変位量検出手段3は、クッションリング9と上型11との間の、上下方向の距離を測定するものである。そして、変位量検出手段3に係る渦電流センサは、上型11の適当な水平面11aを感知面としており、渦電流センサの本体は、プレス成形中も水平面11aに対向する姿勢を維持するように、ブラケットを介してクッションリング9に強固に固定されている。

さらに、変位量検出手段4は、上型11の適当な鉛直端面11bと、下型7の適当な鉛直面7aとの変位量を測定するものである。図示の例では、鉛直面7aは、下型7に固定された部材12(図5では、図示の都合上、金型7と分離したように図示されている。)に支持された、板状部品13の表面が、感知面としての鉛直面7aとして選択されている。また、変位量検出手段4に係る渦電流センサの本体は、プレス成形中も鉛直面7aに対向する姿勢を維持するように、ブラケットを介して上型の鉛直端面11aに強固に固定されている。

これらの変位量検出手段2、3、4に用いられる渦電流センサは、測定範囲が5mm程度、分解能が2μm程度であり、上記各部位の変位量の精密測定に適している。また、渦電流センサは 20mm×20mm程度の小型のセンサであるため、金型内部に装着する上でも適している。

なお、渦電流センサと同様の性能を有し、かつ、プレス成形中の測定結果を連続して得ることができるように、電圧などの出力を得られるセンサであれば、他の非接触式センサ等を用いることも可能である。

【0023】

一方、変位量検出手段5は、レーザーセンサによって構成されており、上型11とポンチ10の上面10bとの変位量を測定するものである。レーザーセンサの本体は、上型11のラム51(図12参照)に対する取り付け面の近傍に固定され、上型11の一部をなすダイス14には、レーザービームLを通過させるための開口15が形成されている。なお、パネルには、レーザービームLを通過させるための開口を予め形成しておくものとする。変位量検出手段5に用いられるレーザーセンサは、測定範囲が500mm程度、分解能が50μm程度であり、上記部位の変位量の精密測定に適している。レーザーセンサについても、これと同様の性能を有し、かつ、プレス成形中の測定結果を連続して得ることができるように、電圧などの出力を得られるセンサであれば、他の非接触式センサ等を用いることも可能である。

また、荷重検出手段6は、ロードセルによって構成されており、ポンチ荷重を測定するものである。ロードセルの本体部分は下型7に固定され、下型7とは別体のポンチ10を下方から支えている。さらに、ポンチ10をスライドプレート類似のガイドによって支持することにより、荷重を受けた場合のポンチズレを防止している。

【0024】

10

20

30

40

50

これらの変位量検出手段2、3、4、5および荷重検出手段6は、金型1の複数箇所に一定間隔を開けて設けられている。なお、図5には、図示の都合上、変位量検出手段4、5は一つづつ図示されているが、実際には、変位量検出手段2と同様に変位量検出手段4、5も一つの断面上に二つづつ設けられている。また、各センサは、互いの磁界が干渉を及ぼすことが無いように若干位置をずらすようにして設けられている。

そして、変位量検出手段2、3、4、5および荷重検出手段6の測定結果（測定電圧）は、図5に模式的に示すアンプ17を介し、かつ、アナログ・デジタルデータ変換機18を経由し、パソコン等の処理装置19によって処理され、必要に応じ、ディスプレイ、プリンタ等の表示手段20によって表示することができる。

【0025】

10

さらに、後述する理由から、下型7の適当な位置には、クッションリング9の底面と、当該底面に対向する下型7の平面との間に、シムを挿入するための開口を形成している。加えて、当該シムの当り面（機械加工面）を、クッションリング9の底面とそれに対向する下型7の平面に形成している。金型1についての、その他の部分の構造については、従来の金型と同様であることから、詳しい説明を省略する。

【0026】

20

ここで、本発明の実施の形態に係るプレス成形中の金型変位量の測定装置を用い、プレス成形作業中のプレス金型1の特定部分間の変位量を測定する手順を、図7を参照しながら説明する。

(1) 測定条件の決定を行う。

(i)ステップ：プレス成形に必要なポンチ荷重の算出

成形シミュレーションを用い、若しくは幾何学上の計算を行うことにより、金型1が剛体であると仮定した場合の、設計上の下死点となるポンチ荷重（所望のポンチ荷重）を求める。

(ii)ステップ：実際のダイハイトの決定

上記(i)で算出したポンチ荷重となるように、荷重検出手段6によってポンチ荷重を実測しながら試打を繰り返しを行い、所望のポンチ荷重を得るために必要な実際のダイハイトを決定する。

【0027】

30

(2) 変位量検出手段2、3、4、5のゼロ点調整を行う。

(i)ステップ：無負荷ダイハイトを決定する。

素材を金型にセットしない状態で、かつ、クッションピン16（図5）のクッション荷重をクッションリング9に付与しない無負荷状態（このとき、クッションリング9は自重により降下している。）で、荷重検出手段6によってポンチ荷重を実測しながら上型11を下降させる。そして、実際にポンチ荷重が発生し始めるダイハイトを把握する。この、実際にポンチ荷重が発生し始めるダイハイトに初期板厚分を加算したものを、無負荷ダイハイトとする。

(ii)ステップ：続いて、クッションピン16に荷重を与えてクッションリング9を上昇させ、クッションリング9の下面と当該下面に対向する下型7の平面との間に隙間を持たせる。

40

(iii)ステップ：クッションリング9の底面と当該底面に対向する下型11の平面との間に形成したシムの当り面に、下型7に形成した開口から、シムを挿入する。このとき用いられるシムは、クッションリング9が自重によって降下し、下型11との間に挟まれた状態で、クッションリング9の上面が、プレス加工時の下死点に相当する位置に保持されるだけの厚みを有するものである。

【0028】

(iv)ステップ：クッションピン16の荷重を抜き、クッションリング9を下降させて、クッションリング9の底面と、当該底面に対向する下型の平面との間にシムを噛ませる。この状態で、クッションリング9は、クッションピン16の荷重を与えることなくプレス加工時の下死点に相当する位置に保持される。

50

(v)ステップ：上記(2)(i)ステップで決定した無負荷ダイハイトへと、上型11を下降させることにより、無負荷状態でクッションリングおよび上型を下死点に置き、かつ、ポンチおよびクッションリングと、上型との間に板厚分の空きを与えた状態となる。

(vi)ステップ：上記(2)(v)ステップの状態で、変位量検出手段2、3、4、5のゼロ点調整を行う。

【0029】

(3)金型各部の変位量の測定を行う。

(i)ステップ：上記(2)(iii)～(vi)ステップで用いたシムを金型から取り除く。

(ii)ステップ：上記(1)(ii)ステップで決定した実際のダイハイトにより、プレス成形を行う。そして、プレス成形中、変位量検出手段2、3、4、5による金型各部の変位量の測定を行う。10

(4)測定結果を出力する。

パネル成形を行い、変位量検出手段2の測定結果から、プレス成形中におけるクッションリング9とポンチの鉛直面10aとのクリアランスの変化を、経時的に検出することができる。

また、変位量検出手段3の測定結果から、プレス成形中におけるクッションリング9と上型11とのクリアランスの変化を、経時的に検出することができる。

さらに、変位量検出手段4の測定結果から、プレス成形中における上型11の開き量の変化を、経時的に検出することができる。

加えて、変位量検出手段5により、上型11とポンチ上面10bとの変位量を複数箇所で検出し、金型各部の変位量の測定を行い、金型1の全体のたわみを経時的に検出することができる。20

そして、上記測定結果を処理装置19によって処理し、必要に応じ、表示手段20にグラフ化して表示し、または、プリンタによってプリントアウトすることができる。

【0030】

図8～図11には、本発明の実施の形態に係るプレス成形中の金型変位量の測定装置による測定結果の一例を示している。当該測定例では、図6に符号A A、B B、C C、D Dで示す線(一定ピッチとする)が通る鉛直断面上に、変位量検出手段2、3、4、5を配置している。

図8は、変位量検出手段2で検出した、クッションリング9の開き量を経時的に示している。なお各測定位置A、B、C、Dには、変位量検出手段2が二つづつ設けられているので、図8における各測定位置の検出結果は、二つの検出手段の測定結果の平均値を表している。図中、符号B hで示す線はプランクホールド時点を示し、符号B d cで示す線は上型11およびクッションリング9の下死点を示している(図9も同じ)。30

また、図5は、変位量検出手段3で検出した、しわ抑え面のクリアランスを経時的に示している。図5では、各測定位置A、B、C、Dの二つの変位量検出手段3の測定結果を、A1、A2、B1、B2、C1、C2、D1、D2として別々に示している。

【0031】

さらに、図10は、変位量検出手段5で検出した、下死点での上型11のたわみ(ポンチ上面10bを基準とした値)を示している。40

また、図11は、変位量検出手段5で検出した、下死点での上型11のたわみと、荷重検出手段6で測定したパンチ荷重との関係を示している。

なお、以上の測定結果は、図12に示すように、下型7および上型11がプレスマシン50に装着された状態で、上型11を駆動するラム51に対する推進装置の加圧力Fが、下型7および上型11よりも外側に作用する条件下で測定したものである。

【0032】

ここで、上記構成をなす本発明の実施の形態により得られる作用効果をまとめると、以下のようになる。

すなわち、図2に示すシミュレーション方法では、成形ストロークに応じた金型のたわみ分布を求めるステップにおいて、当該たわみ分布を正確に求めておく。その手法として50

は、図1の(a)～(c)ステップのごとき、高精度が保証されたシミュレーションや、図5～図12で説明した測定装置を用いることができる。

そして、(d-1)ステップにおいて、当該たわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の金型表面の節点に対し強制変位条件として与え、(d-2)ステップにおいて、正確に求めたたわみ分布を考慮した板成形シミュレーションを行う。

さらに、(d-3)ステップにおいて、(d-2)ステップで得られる成形荷重が所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重と一致するまで、前記金型のたわみ分布を変えることなく、金型全体の変位量を変える。すなわち、図3に示すように、成形荷重の目標値Tと計算値Cとの比較、検証を行い、理想的な成形荷重条件下における板成形シミュレーションを行うことで、板成形品の形状を高精度にシミュレーションすることができる。
10

【0033】

また、図4に示すシミュレーション方法では、成形ストロークに応じた金型のたわみ分布を求めるステップにおいて、図2の例と同様に、当該たわみ分布を正確に求めておく。

そして、(e-1)ステップにおいて、当該たわみ相当分を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の前記しづわ抑え荷重を与える部分の表面の節点に対し強制変位条件として与えて、(e-2)ステップにおいて、正確に求めたたわみ分布を考慮した、板成形シミュレーションを行うものである。ここで、金型の前記しづわ抑え荷重を与える部分を除いた部分を剛体と仮定していることから、図2の例のごとく、成形荷重の目標値Tと計算値Cとの比較、検証は不要である。したがって、図4の手法によっても、板成形品の形状を高精度にシミュレーションすることができる。
20

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】本発明の実施の形態に係る、プレス成形中の金型たわみ分布のシミュレーション方法を示すフローチャートである。

【図2】本発明の実施の形態に係る、プレス成形中の金型たわみを考慮した板成形のシミュレーション方法を示すフローチャートである。

【図3】所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重と、図2に示す板成形シミュレーション過程において求められる、成形荷重の計算値Cとを比較したグラフである。
30

【図4】本発明の実施の形態に係る、プレス成形中の金型たわみを考慮した板成形のシミュレーション方法の別例を示すフローチャートである。

【図5】本発明の実施の形態に係るプレス成形中の金型変位量の測定装置を組み込んだプレス金型の断面図である。

【図6】図5に示す、プレス成形中の金型変位量の測定装置を組み込んだプレス金型の、分解斜視図である。

【図7】図5に示すプレス成形中の金型変位量の測定装置を用い、プレス成形作業中のプレス金型の特定部分間の変位量を測定する手順を示す、フローチャートである。

【図8】図5に示すプレス成形中の金型変位量の測定装置を組み込んだプレス金型の、プレス成形中におけるクッショニングリングの開き量を経時的に示したグラフである。
40

【図9】図5に示すプレス成形中の金型変位量の測定装置を組み込んだプレス金型の、プレス成形中におけるしづわ抑え面のクリアランスを経時的に示したグラフである。

【図10】図5に示すプレス成形中の金型変位量の測定装置を組み込んだプレス金型の、下死点での上型のたわみを示した図である。

【図11】図5に示すプレス成形中の金型変位量の測定装置を組み込んだプレス金型の、下死点での上型のたわみと、荷重検出手段で測定したパンチ荷重との関係を示した図である。

【図12】図5に示すプレス金型を装着するプレスマシンを示す模式図である。

【符号の説明】

【0035】

(a) ~ (c) : シミュレーションにより、成形ストロークに応じた金型たわみ分布を求めるステップ

(d-1) : (a) ~ (c) ステップを一例とするシミュレーション方法により求めた、金型のたわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の、金型表面の節点に対し強制変位条件として与える（板成形用メッシュにマッピングする。）ステップ

(d-2) : 実際に、動的陽解法によって板成形シミュレーションを行うステップ

(d-3) : (d-2) ステップで行った板成形シミュレーションの結果、求められる成形荷重をチェックするステップ

(d-4) : (d-3) ステップで計算値が目標の成形荷重と一致したことを確認した時点で、プレス成形中の製品形状のシミュレーション結果を出力するステップ

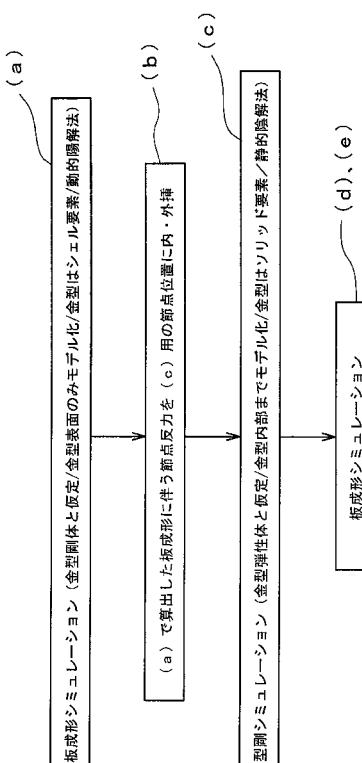
(e-1) : (a) ~ (c) ステップを一例とするシミュレーション方法により求めた、金型のたわみ分布を、動的陽解法により板成形シミュレーションを行う際の、しわ抑え荷重を与える部分の表面の節点に対し強制変位条件として与える（板成形用メッシュにマッピングする。）ステップ

(e-2) : 金型の前記しわ抑え荷重を与える部分を除いた部分を剛体と仮定して、所望の製品形状を得るために必要となる目標の成形荷重を与え、当該板成形シミュレーションを行うステップ

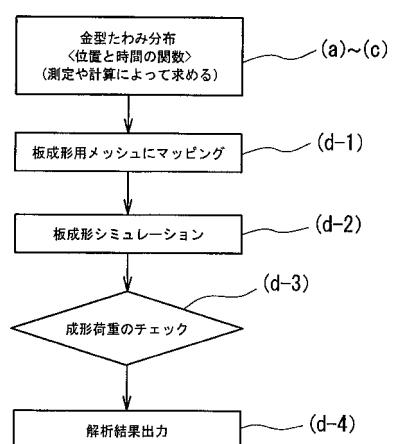
(e-3) : プレス成形中の製品形状のシミュレーション結果を出力するステップ

10

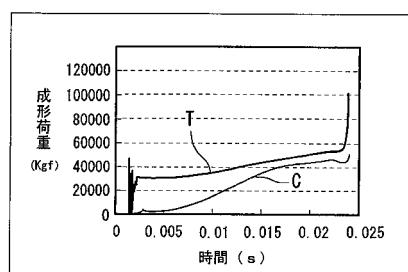
【図1】



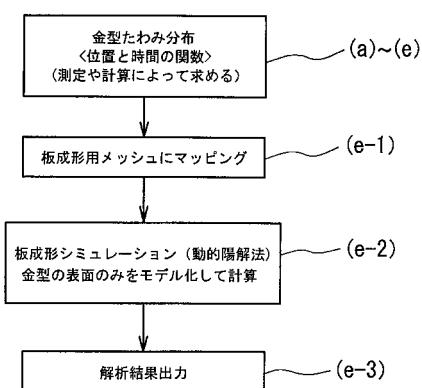
【図2】



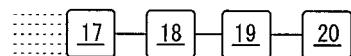
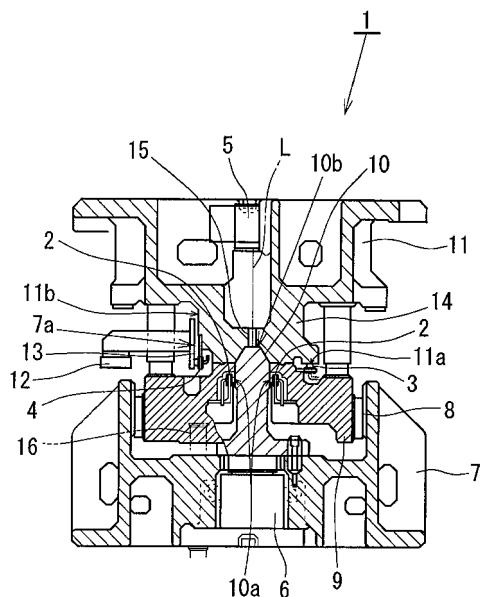
【図3】



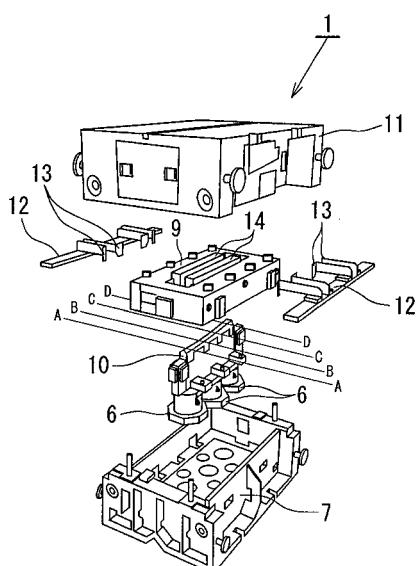
【図4】



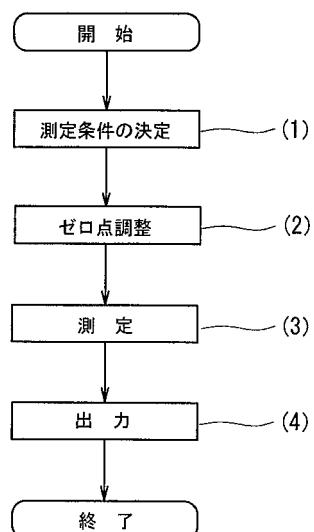
【 図 5 】



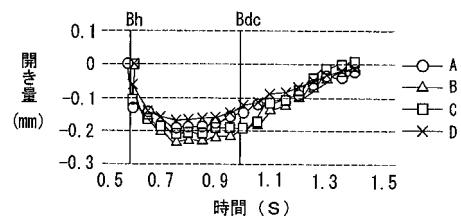
【図6】



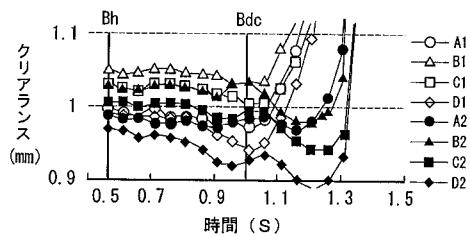
【 四 7 】



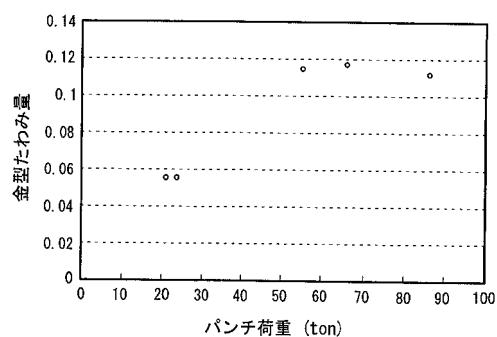
【 义 8 】



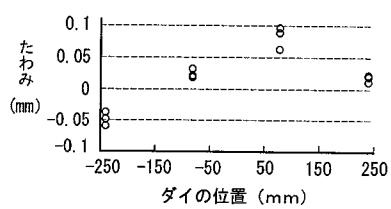
【図 9】



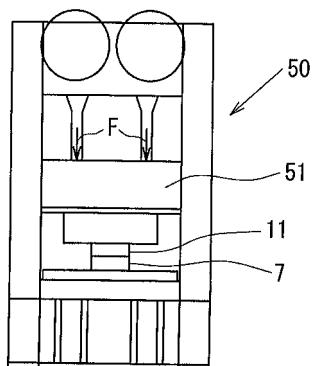
【図 11】



【図 10】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 吉田 総仁
東広島市鏡山一丁目4番1号 広島大学内

審査官 川村 健一

(56)参考文献 特開2002-219523(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B21D 22/00

B21D 22/22

G06F 17/50