

(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2012-166251
(P2012-166251A)

(43) 公開日 平成24年9月6日(2012.9.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 1 D 22/00 (2006.01)	B 2 1 D 22/00	5 B 0 4 6
G 0 6 F 17/50 (2006.01)	G 0 6 F 17/50	6 1 2 H
	G 0 6 F 17/50	6 8 0 C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2011-30601 (P2011-30601)
(22) 出願日 平成23年2月16日 (2011.2.16)

(71) 出願人 000001258
J F E スチール株式会社
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(74) 代理人 100080687
弁理士 小川 順三
(74) 代理人 100077126
弁理士 中村 盛夫
(74) 代理人 100107227
弁理士 藤谷 史朗
(72) 発明者 新宮 豊久
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
F E スチール株式会社内
(72) 発明者 藤井 祐輔
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
F E スチール株式会社内

最終頁に続く

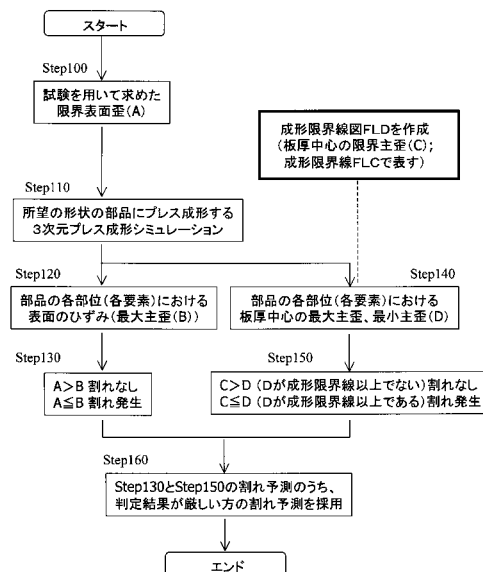
(54) 【発明の名称】 プレス成形における割れ予測方法およびプレス部品の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 プレス成形における割れ発生を精度よく予測する割れ予測方法と、この方法を用いてプレス部品を製造する方法を提案する。

【解決手段】 予めプレス成形する金属板の表面に割れが発生する限界表面ひずみを求めておき、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の表面ひずみが上記金属板の限界表面ひずみ以上となるときに割れが発生すると予測する第1の割れ予測と、予めプレス成形する金属板の成形限界線図を求めておき、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の板厚中心における最大主ひずみと最小主ひずみのプロットが上記成形限界線図の成形限界線以上となったときに割れが発生すると予測する第2の割れ予測とを実施し、上記2種類の割れ予測のうちの割れに厳しい方の予測を基に割れの発生を予測する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

予めプレス成形する金属板の表面に割れが発生する限界表面ひずみを求めておき、
次いで、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の表面ひずみが上記金属板の限界表面ひずみ以上となるときに割れが発生すると予測する第 1 の割れ予測と、

予めプレス成形する金属板の成形限界線図を求めておき、

次いで、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の板厚中心における最大主ひずみと最小主ひずみのプロットが上記成形限界線図の成形限界線以上となったときに割れが発生すると予測する第 2 の割れ予測とを実施し、

上記 2 種類の割れ予測のうちの判定結果が厳しい方の予測を基に割れの発生を予測することを特徴とするプレス成形における割れ予測方法。

【請求項 2】

上記限界表面ひずみを、曲げ試験を用いて求めることを特徴とする請求項 1 に記載のプレス成形における割れ予測方法。

【請求項 3】

予めプレス成形する金属板の曲げ試験を行って割れが発生する限界曲げ半径を求めておき、

次いで、有限要素法を用いて上記曲げ試験をシミュレーションして限界曲げ半径に対応する金属板表面の最大主ひずみを求めて、これを限界表面ひずみとし、

次いで、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の表面の最大主ひずみが上記金属板の限界表面ひずみ以上となるときに割れが発生すると予測する第 1 の割れ予測を実施することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のプレス成形における割れ予測方法。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法でプレス成形における割れ発生の有無を予測し、割れが発生しない条件で金属板をプレス成形することを特徴とするプレス部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、プレス成形における割れを精度よく判定する方法と、その方法を用いた割れ発生のない条件でプレス成形することにより、プレス部品を製造する方法に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

プレス成形は、一对の金型の中に金属板を挟んで挟圧し、鋼板等の金属板を型の形状に倣うよう成形して所望の形状の部品を得ようとする代表的な金属加工方法の一つであり、自動車部品、機械部品、建築部材、家電製品等、幅広い製造分野で用いられている。

【0003】

プレス成形する際、成形途中で被成形材である金属板に割れが生じる現象がたびたび問題視されており、その解決策として、金属板自体の成形性を高めることの他に、プレス成形における割れを精度よく予測しようとする努力がなされている。例えば、近年よく用いられている方法としては、有限要素法を用いたプレス成形シミュレーションにおいて、金型形状や金属板の機械的特性（材質）の他、金型や金属板の温度、金型を閉塞させる速度（プレス速度）、潤滑条件などの各種プレス条件を変化させて、割れが生じない成形条件を探ろうとする方法がある。

【0004】

有限要素法は、例えば、特許文献 1 より抜粋した、図 1 (a) に示すようなハット形部

10

20

30

40

50

材をプレス成形する場合、図1(b)に示すように、上型1、下型2および金属板3を模擬した部分を、仮想的なメッシュから構成される要素群に分解した上で、プレス成形における各段階で、各要素にどれだけの応力とひずみがどの方向に作用するかを解析(シミュレーション)する方法である。

【0005】

ここで、図1(b)の例では、二次元的(平面的)なメッシュに要素分割しているが、三次元的(立体的)なメッシュに要素分割する場合も多い。また、分割する要素は、図1(b)の上型1、下型2を模擬した部分のように、三角形(三角柱)とする場合もあれば、金属板3を模擬した部分のように、四角形(直方体)とする場合もあり、さらに、図示していないが、六角形(六角柱)とする場合もある。なお、金属板のプレス成形シミュレーションでは、金属板の板厚中心を二次元的なメッシュに要素分割する場合が多い。

10

【0006】

ところで、従来のプレス割れ発生有無の予測は、有限要素法を用いた金属板のプレス成形シミュレーションで、上記のようなメッシュに分割した各要素の板厚中心における成形後の最大主ひずみ ϵ_1 および最小主ひずみ ϵ_2 (各スカラー)を接点の座標変化から計算により求め、上記最大主ひずみ ϵ_1 および最小主ひずみ ϵ_2 が、別途作成しておいた、図2に示したような成形限界線図FLD(Forming Limit Diagram)の成形限界線FLC(Forming Limit Curve)を挟んで割れ発生領域、割れなしの領域のいずれの側に存在するかを確認し、割れ発生領域に存在する場合に、割れが発生すると予測していた。

20

【0007】

上記FLDの作成方法には、代表的なものとして、中島法やMarciniak法がある。これらの方法は、スクライブドサークル等、各種のパターンをマーキングした、形状(幅)の異なる数種のサンプルを使用し、先端曲率半径が25~50mm程度の球頭パンチ(中島法)あるいは円頭パンチ(Marciniak法)を用いて、破断もしくはネッキングが発生するまで張出し成形し、成形後のマーキングの変化から、破断やネッキング発生位置の最大主ひずみ、最小主ひずみを求め、その測定結果を二次元表示して成形限界線(FLC)を得る方法である。このFLCは、板厚中心の成形限界を示しており、前述した板厚中心の要素を用いて計算したプレス成形シミュレーションと照らし合わせることで、割れの発生を予測するものである。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2008-55488号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、発明者らの研究によれば、上記従来の割れ予測方法を用いた場合、割れ発生なしと予測されたプレス成形条件でも、実際の金属板のプレス成形、特に高強度鋼板のプレス成形で割れが発生し、予測した結果と現実とが大きく乖離している事例が多々発生していた。

40

【0010】

本発明は、従来技術が抱える上記問題点を解決すべく開発したものであり、その目的は、プレス成形における割れの発生を精度よく予測することができる割れ予測方法と、その予測方法を用いた割れ発生のない条件でプレス成形するプレス部品の製造方法を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

発明者らは、特に高強度鋼板において、従来の方法による割れ発生の予測とプレス成形における割れ発生の結果とが乖離している原因について、鋭意検討を重ねた。その結果、

50

鋼板に発生する割れには、主に低強度、軟質材において起こる延性が支配する割れと、主に高強度、硬質材において起こる曲げ性が支配する割れとがあり、従来の割れ予測方法では、後者の曲げ性支配の割れについては一切考慮していなかったためであることが明らかとなった。

【0012】

そこで、発明者らは、延性支配の割れだけでなく、曲げ性支配の割れをも含めて、割れ発生の有無を精度良く予測する方法について、さらに検討を重ねた。その結果、プレス成形品の板厚中心における最大主ひずみ、最小主ひずみと成形限界線図とを対比して割れの発生を予測する延性支配の割れ発生予測と、プレス成形品の表面におけるひずみ（最大主ひずみ）と限界表面ひずみとを対比して割れの発生を予測する曲げ性支配の割れ発生予測とを実施し、そのうちの割れに対する結果の厳しい方の予測を基に、割れの発生の有無を予測することで、精度よく割れの発生を予測できることに想到し、本発明を完成するに至った。

10

【0013】

すなわち、本発明は、予めプレス成形する金属板の表面に割れが発生する限界表面ひずみを求めておき、次いで、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の表面におけるひずみ（最大主ひずみ）が上記金属板の限界表面ひずみ以上となるときに割れが発生すると予測する第1の割れ予測と、予めプレス成形する金属板の成形限界線図を求めておき、次いで、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の板厚中心における最大主ひずみと最小主ひずみのプロットが上記成形限界線図の成形限界線以上となったときに割れが発生すると予測する第2の割れ予測とを実施し、上記2種類の割れ予測のうちの判定結果が厳しい方の予測を基に割れの発生を予測することを特徴とするプレス成形における割れ予測方法である。

20

【0014】

本発明のプレス成形における割れ予測方法は、上記限界表面ひずみを、曲げ試験を用いて求めることを特徴とする。

【0015】

また、本発明のプレス成形における割れ予測方法は、予めプレス成形する金属板の曲げ試験を行って割れが発生する限界曲げ半径を求めておき、次いで、有限要素法を用いて上記曲げ試験をシミュレーションして限界曲げ半径に対応する金属板表面の最大主ひずみを求めて、これを限界表面ひずみとし、次いで、有限要素法を用いて上記金属板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、いずれかの要素の表面の最大主ひずみが上記金属板の限界表面ひずみ以上となるときに割れが発生すると予測する第1の割れ予測を実施することを特徴とする。

30

【0016】

また、本発明は、上記のいずれかに記載の方法でプレス成形における割れ発生の有無を予測し、割れが発生しない条件で金属板をプレス成形することを特徴とするプレス部品の製造方法を提案する。

【発明の効果】

40

【0017】

本発明によれば、プレス成形における割れの発生有無を精度よく予測することができるので、自動車のパネル部品、構造・骨格部品等の各種部品をプレス成形する際の割れ発生を精度よく予測することが可能となり、プレス成形を安定して行うことができるとともに、プレス製品の不良率の低減にも大きく寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】有限要素法を用いたプレス成形シミュレーションを説明する図であり、(a)は金型と被成形材（金属板）との関係を、(b)はメッシュ分割例を示す。

【図2】成形限界線図（FLD）を説明する図である。

50

【図3】割れの形態を説明する図であり、(a)は延性が支配している割れ、(b)は曲げ性が支配している割れを示す。

【図4】本発明の割れ発生を予測する方法を説明するフロー図である。

【図5】限界表面ひずみの測定に用いることができるパンチを説明する図である。

【図6】本発明の割れ発生を予測する他の方法を説明するフロー図である。

【図7】プレス成形シミュレーションに用いるシェル要素を説明する図である。

【図8】実施例の90度曲げ試験を説明する図である。

【図9】実施例に用いた鋼板の(限界曲げ半径/板厚)と、割れ発生時の曲げ先端外側表面歪との関係を示す図である。

【図10】実施例においてプレス成形した部品形状、寸法を説明する図である。

10

【図11】表1の鋼板A~Cの成形限界線図FLDを示す図である。

【図12】表1の鋼板A~Cをプレス成形したときに鋼板に割れが発生した金型位置と、同位置を2種類の割れ予測方法で予測した値とを対比して示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

まず、本発明の基本的技術思想について説明する。

発明者らは、高強度の薄鋼板を対象としたプレス成形の研究を行っていた際、鋼板の引張強さTSが980MPa級あるいは1180MPa級と高強度化、硬質化するのに伴い、プレス成形において、くびれ(ネッキング)を起こすことなく破断に至るケースが多く見られることに気付いた。この現象を、図3を用いて説明すると、例えば、球頭パンチを用いて低強度で軟質な鋼板を張出し成形する場合には、一般に、図3(a)に示したように局部的にくびれが発生し、そのくびれ部の板厚減少量が大きくなって割れに至るのが普通である。しかし、上述した引張強さが980MPa級や1180MPa級のように高強度化、硬質化した鋼板では、図3(b)に示したように、鋼板表面からクラックが発生して、一気に割れに至ることがあることがわかった。

20

【0020】

発明者らは、高強度鋼板に発生し易い上記特異な割れの原因について、さらに研究を重ねた結果、上記割れには曲げ性が大きく関与していることを知見した。すなわち、割れに影響する因子としては延性と曲げ性があり、鋼板が低強度、軟質である場合には、延性がプレス成形における割れを支配しているため、板厚が局部的に減少するネッキングが進行し、延性が限界に達した段階で割れが発生する(以降、この割れを「延性支配の割れ」とも称する)。しかし、鋼板が高強度化、硬質化するにつれて、鋼板の曲げ性が低下するとともに、プレス成形における割れも、延性支配から曲げ性支配に移行する。その結果、鋼板の曲げ性が限界に達して鋼板表面に亀裂が発生すると同時に、その亀裂が一気に伝播して割れに至るものと考えられた(以降、この割れを「曲げ性支配の割れ」とも称する)。

30

【0021】

しかるに、従来の割れ発生の予測方法においては、低強度で軟質な鋼板の割れのように板厚減少から割れに至る延性支配の割れを想定し、板厚中心における最大主ひずみを用いて割れの予測を行っていた。そのため、高強度鋼板における割れのように、曲げ性が割れを支配し、表面亀裂から一気に割れに至るような場合には、精度よく割れを予測することができなかつたのである。

40

【0022】

そこで、発明者らは、延性支配の割れだけでなく、曲げ性支配の割れをも含めて、有限要素法を用いたプレス成形シミュレーションで、割れ発生の有無を精度良く予測することについてさらに検討を重ねた。その結果、プレス成形品の板厚中心の最大主ひずみ、最小主ひずみと成形限界線図とを対比して割れの発生を予測する延性支配の割れ発生予測と、プレス成形品の表面におけるひずみ(最大主ひずみ)と限界表面ひずみとを対比して割れの発生を予測する曲げ性支配の割れ発生予測との2種類の割れ予測を実施し、そのうちの割れに対して厳しい方の予測を基に、割れの発生を予測することで、割れの発生有無を精度よく予測できることに想到したものである。

50

本発明は、上記の新規知見に基づきなされたものである。

【0023】

次に、本発明の実施の形態について、被成形材（金属板）として鋼板を例にとって、具体的に説明する。

図4に、本発明の割れ予測方法の一実施形態のフローを示す。

まず、本発明においては、曲げ性支配の割れ発生予測を行う必要がある。

そのためには、曲げ変形により鋼板の表面に割れが発生する限界表面ひずみを、予め何らかの試験により求めておくことが必要である。ここで、上記試験としては、図5(a)に示したような曲げ試験や、図5(b)に示したような球頭パンチや、図示されていない楕円球頭パンチを用いた張出し試験などがあるが、その他の試験方法を用いてもよい。また、上記曲げ試験は、90度曲げ（V曲げ）や180度曲げ（U曲げ）など、いずれの曲げ角度を用いてもよい。

10

【0024】

なお、上記限界表面ひずみは、鋼板の材質に応じて求めておくことが好ましい。ここで、上記「材質」とは、引張強さの他、降伏応力や硬さ、曲げ性等が考えられる。また、「材質に応じて」とは、例えば、引張強さが980MPa級では限界表面ひずみが0.50、引張強さが1180MPa級では限界表面ひずみが0.22というように求めておくことを意味する。こうすることで、割れが発生する限界表面ひずみを、引張強さや降伏応力等の関数として表すことができるので、上記限界表面ひずみに代えて、他の材質を割れの指標とすることができるからである。

20

【0025】

次いで、上記限界表面ひずみを求めた鋼板を、所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを、有限要素法を用いて行い、分割した各要素の表面におけるひずみ（最大主ひずみ）を求め、各要素の表面における最大主ひずみと鋼板が有する限界表面ひずみとを対比し、いずれかの要素の表面における最大主ひずみが上記限界表面ひずみ以上となるときに、曲げ性支配の割れが発生すると予測する。

【0026】

また、本発明においては、上記曲げ性支配の割れ発生予測とは別に、延性支配の割れ発生予測を行う必要がある。

そのためには、鋼板に割れが発生する際の板厚中心における成形限界（最大主ひずみと最小主ひずみ）を表した成形限界線図（FLD）を予め求めておくことが必要である。このFLDを求める方法には、球頭パンチを用いる中島法や、円頭パンチを用いるMarciniak法等があるが、いずれを用いてもよい。

30

【0027】

次いで、鋼板を所望の部品形状にプレス成形する、有限要素法を用いたシミュレーションで、各要素の板厚中心の最大主ひずみと最小主ひずみを求め、上記FLDの成形限界線FLCとを対比し、いずれかの要素の板厚中心の最大主ひずみと最小主ひずみのプロットが、上記FLC以上となる、すなわち、割れ発生領域に存在するときに、延性支配の割れが発生すると予測する。

【0028】

次いで、本発明では、上記曲げ性支配の割れ発生予測の結果と、延性支配の割れ発生予測の結果とを対比し、割れに対して厳しい方の予測に基づいて、プレス成形における割れの発生有無を予測する。

40

【0029】

上記のように、本発明の割れ発生を予測する方法では、延性支配の割れ予測と、曲げ性支配の割れ予測の両方を考慮し、割れに対して不利な方の予測を採用しているので、従来の延性支配の割れ予測に基づく割れ発生予測より、格段に精度を向上することが可能となる。

【0030】

なお、本発明の上記割れ予測方法では、曲げ性支配の割れを予測するために、予め、何

50

らかの試験で鋼板に割れが発生する限界表面ひずみを求めておく必要があるが、予め、曲げ試験を行って割れが発生する限界曲げ半径（割れが発生する最大の曲げ半径）を求め、次いで、有限要素法を用いて曲げ試験をシミュレーションして上記限界曲げ半径における最大主ひずみを求め、この最大主ひずみを上記限界表面ひずみに代えて用いてもよい。

例えば、図6に示したように、予め被成形材である鋼板の90度曲げ試験を行い、割れが発生する限界曲げ半径を求める。次いで、有限要素法を用いたシミュレーションで、上記90度曲げ試験で割れが発生した位置の表面の最大主ひずみを求め、これを限界表面ひずみとする。次いで、有限要素法を用いて鋼板を所望の部品形状にプレス成形するシミュレーションを行い、分割した各要素の表面の最大主ひずみを求め、各要素の表面の最大主ひずみと上記鋼板の限界表面ひずみとを対比し、いずれかの要素の表面の最大主ひずみが上記限界表面ひずみ以上となるときに、曲げ性支配の割れが発生すると予測する。

その後、上述した延性支配の割れ予測を行い、曲げ性支配の割れ予測と延性支配の割れ予測のうち、割れに対して厳しい方の予測を用いて、割れの発生を予測する。

【0031】

なお、上記有限要素法を用いたプレス成形シミュレーションで得られる表面の最大主ひずみ、鋼板の限界表面ひずみとの対比は、成形部品すべての要素について行う必要はなく、経験上割れの発生が懸念される部位に絞り込み、その部位の要素についてのみ表面の最大主ひずみと限界表面ひずみとの対比を行ってもよい。

【0032】

また、上記シミュレーションを行う場合のシェル要素は、薄鋼板の場合、一般に板厚方向の応力は無視できるため、板厚方向に要素を考えないシェル要素を用いることができ、通常、板厚中央位置形状でシミュレーション用モデルを作成することが多い。例えば、図7に示すように、各要素内に応力やひずみを計算するための点（積分点）を設定し、板厚方向にも板厚等分位置に積分点を設定する。最大主ひずみおよび最小主ひずみは、各積分点において計算するが、本発明における表面ひずみとは、金属板表面の積分点で計算された最大主ひずみの平均値および最小主ひずみの平均値、図中の記号で説明すると、 $d_1 \sim d_4$ の平均値である。なお、上記積分点の数や位置は、シミュレーションに用いる要素の種類によって決まるものである。

【0033】

本発明のプレス部品の製造方法は、上記に説明した割れ予測方法で、プレス成形における金属板の割れを予測し、もし、割れが発生することが予測された場合には、その条件（金属板、金型）でのプレス成形を止め、割れが発生しない条件に変更してプレス成形することにより、部品を製造する方法である。具体的に、プレス成形に用いる金型形状を変更したり、プレス速度や温度、潤滑状態等の成形条件を変更したり、あるいは、金属板の材質（延性、曲げ性等）を変更したりして、割れ発生のない条件にてプレス成形を実施することができる。

【実施例】

【0034】

表1に示した板厚や機械的特性が異なる3種類の高強度冷延鋼板を、図8に示すように曲げ半径を種々に変更して90度曲げ試験を行い、限界曲げ半径（割れが発生する最大の曲げ半径）を求めた。次いで、有限要素法を用いて上記曲げ試験をシミュレーションし、曲げ先端外側の鋼板表面におけるひずみ（最大主ひずみ）を求めた。なお、上記曲げ試験に用いた試験片の寸法は、板厚×幅30mm×長さ100mmとした。また、有限要素法の解析ソフトは、LS-DYNA Ver9.71（LSTC；Livermore Software Technology Corporation社製）を用い、板厚方向へのメッシュ分割は、1メッシュ（分割なし）とした。上記の結果を、（限界曲げ半径/板厚）と、曲げ先端外側の鋼板表面におけるひずみ（最大主ひずみ）との関係として、図9に示す。この結果から、表1に示したように、鋼板A、BおよびCの限界曲げ半径に対応する曲げ先端外側の鋼板表面におけるひずみ（最大主ひずみ）を限界表面ひずみとし、鋼板A、B、Cの限界表面ひずみは、それぞれ0.22、0.26および0.32であ

10

20

30

40

50

ることがわかる。

【0035】

【表1】

鋼板 記号	板厚 (mm)	降伏応力 YS (MPa)	引張強さ TS (MPa)	伸び E1 (%)	限界曲げ半径 (90度曲げ) (mm)	限界曲げ半径 / 板厚
A	1.36	735	1201	15	3.0	2.21
B	1.40	830	1225	12	2.5	1.79
C	1.40	878	1245	13	2.0	1.43

10

【0036】

次いで、表1に示した鋼板A～Cを、上型と下型からなるモデル金型を用いて、自動車のセンターピラー上部のルーフレール接続部分を模擬した部品形状(図10参照)にプレス成形し、割れが発生したときの金型位置(下死点からの距離)を調査した。その結果、上記鋼板A～Cの割れが発生する金型位置は、鋼板Aは12mm、鋼板Bは11mm、鋼板Cは9mmであった。

【0037】

また、上記プレス成形と並行して、90度曲げ試験のシミュレーションと同じ解析ソフトを用いて、上記プレス成形を3次元シミュレーションし、金型が下死点に至るまでの成形過程における、鋼板の割れ発生位置に対応する要素の鋼板表面の最大主ひずみと、板厚中心の最大主ひずみ₁および最小主ひずみ₂を求めた。

20

【0038】

次いで、上記シミュレーションで得られた、割れが発生する位置の鋼板表面の最大主ひずみが、前述した限界曲げ半径に対応する限界表面ひずみ以上となるプレス成形の金型位置(下死点からの距離)を求めた。その結果、割れが発生する金型位置は、鋼板Aは11mm、鋼板Bは9mm、鋼板Cは0mm(割れなし)であった。例えば、鋼板Aについて説明すると、限界表面ひずみは0.22であるが、金型位置が下死点から12mmの位置における鋼板表面の最大主ひずみは0.211、下死点から11mmの位置における鋼板表面の最大主ひずみは0.224であるため、下死点から11mmの位置で割れが発生すると予測した。

30

【0039】

一方、表1に示したA～Cの鋼板について、先端曲率半径25mmの球頭パンチを用いた張出し試験(中島法)を用いて、成形限界線図FLDを求め、その結果を図11に示した。また、これらの図中には、上記プレス成形シミュレーションによって、鋼板に割れが発生する位置の板厚中心における最大主ひずみ₁および最小主ひずみ₂が、プレス成形時に金型が下死点に到達するまで、どのように推移するかを示した。そして、これらの図から、上記FLDとプレス成形シミュレーションとから予測されるプレス成形で割れが発生する金型位置(下死点からの距離)の予測位置を読み取ると、鋼板Aは5mm、鋼板Bは10mm、鋼板Cは8mmとなった。

40

【0040】

上記、鋼板表面の限界表面ひずみから予測される割れが発生する金型位置と、成形限界線図FLDから予測される割れが発生する金型位置と、プレス成形で割れが発生する金型位置とを対比して、図12に示した。これらの図から、曲げ性が良好な鋼板BおよびCは、成形限界線図FLDから得られる予測値と、プレスの結果とはよい一致を示しているが、曲げ性が劣る鋼板Aではプレスの結果と大きく乖離しており、むしろ、鋼板表面の限界表面ひずみから得られる予測値とよい一致を示していることがわかる。

【0041】

50

例えば、鋼板 A では、図 12 (a) に示すように、F L D による割れ予測では、下死点から 5 mm の位置まで金型を下降させたときに割れが発生すると予測され、一方、限界表面ひずみによる割れ予測では、下死点から 11 mm の位置まで金型を下降させたときに割れが発生すると予測されており、限界表面ひずみを用いた割れ予測の方が、実際にプレス成形における割れ発生時の金型位置 (下死点から 12 mm) を精度よく予測している。

また、鋼板 A より曲げ性の良い鋼板 B では、図 12 (b) に示すように、F L D による割れ予測では、下死点から 10 mm の位置まで金型を下降させたときに割れが発生すると予測され、一方、限界表面ひずみによる割れ予測では、下死点から 9 mm の位置まで金型を下降させたときに割れが発生すると予測されており、鋼板 A とは逆に、F L D を用いた割れ予測の方が、実際にプレス成形における割れ発生時の金型位置 (下死点から 11 mm) を精度よく予測している。

10

また、さらに曲げ性の良い鋼板 C では、図 12 (c) に示すように、F L D による割れ予測では、下死点から 8 mm の位置まで金型を下降させたときに割れが発生すると予測され、一方、限界表面ひずみによる割れ予測では、下死点まで金型を下降させても割れが発生しないと予測されており、やはり鋼板 A とは逆に、F L D を用いた割れ予測の方が、実際にプレス成形における割れ発生時の金型位置 (下死点から 9 mm) を精度よく予測している。

【 0 0 4 2 】

上記のように、以上の結果から、プレス成形における割れを精度よく予測するには、F L D を用いた割れ予測方法 (延性支配の割れ予測方法) と、限界表面ひずみを用いた割れ予測方法 (曲げ性支配の割れ予測方法) の 2 つの方法で割れ予測を行い、割れに対して厳しい方の予測を採用することが有効であることがわかる。

20

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 4 3 】

本発明は、上記に説明した内容に限られるものではなく、例えば、上記実施例では、引張強さが 980 MPa 級以上の鋼板 (1180 MPa 級の鋼板) に適用した例が示されており、本発明は、このような高強度鋼板のプレス成形に適用することが好ましいが、引張強さが 980 MPa 級未満の鋼板や、鋼板以外の金属板に適用することもできる。

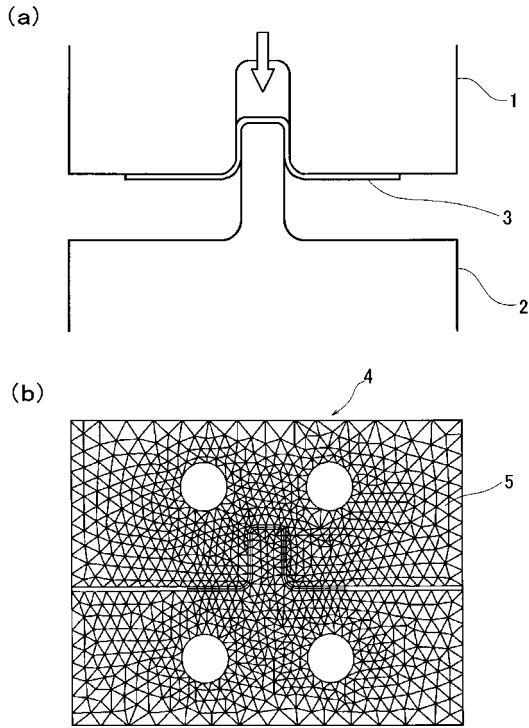
【 符号の説明 】

【 0 0 4 4 】

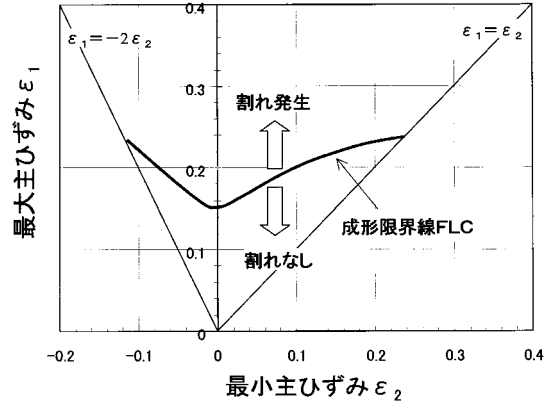
- 1 : プレス金型の上型
- 2 : プレス金型の下型
- 3 : 被成形材 (金属板、鋼板)
- 4 : メッシュ分割
- 5 : 要素

30

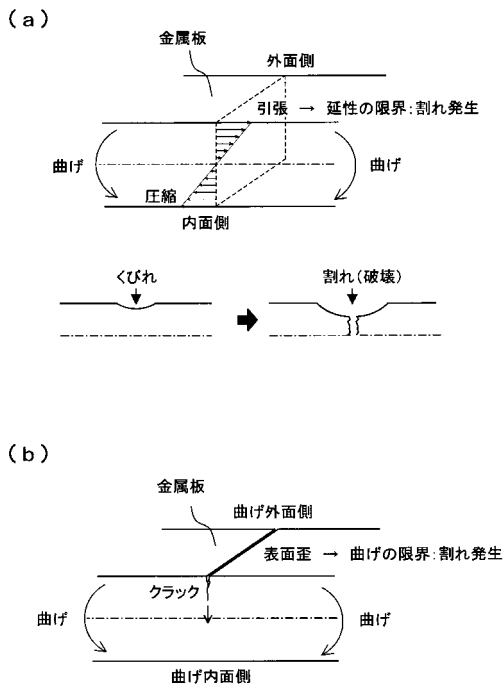
【 図 1 】



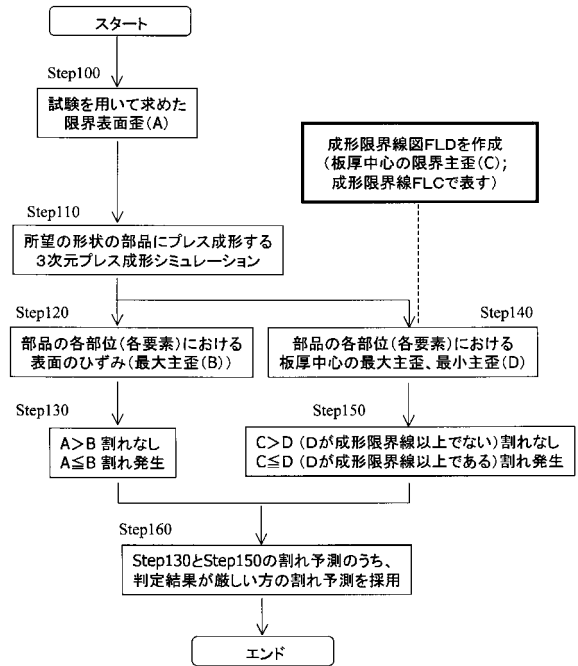
【 図 2 】



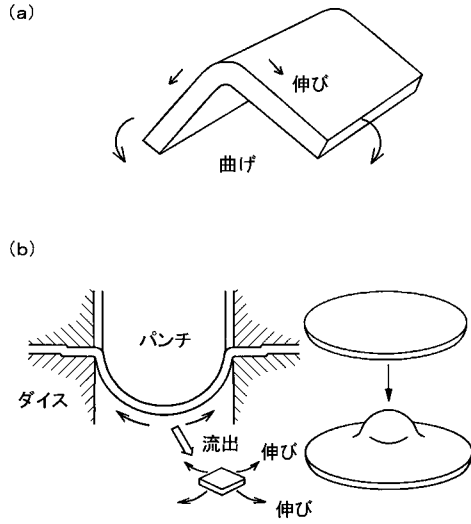
【 図 3 】



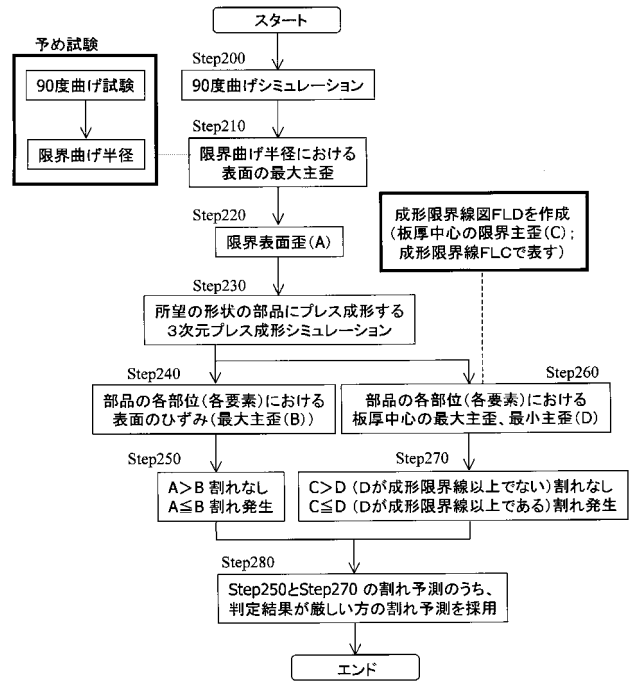
【 図 4 】



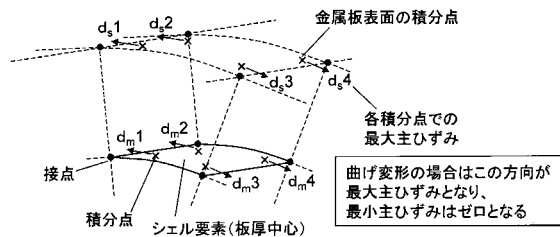
【 図 5 】



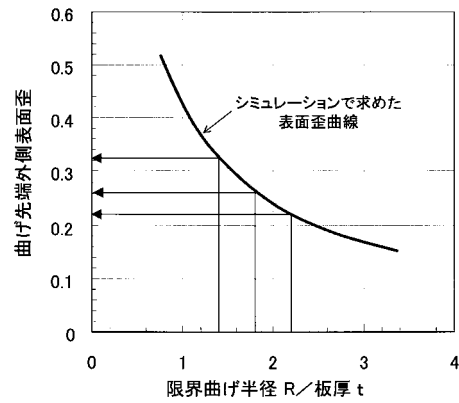
【 図 6 】



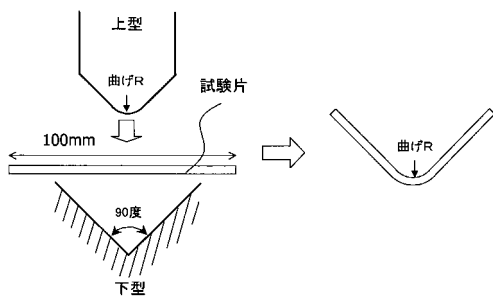
【 図 7 】



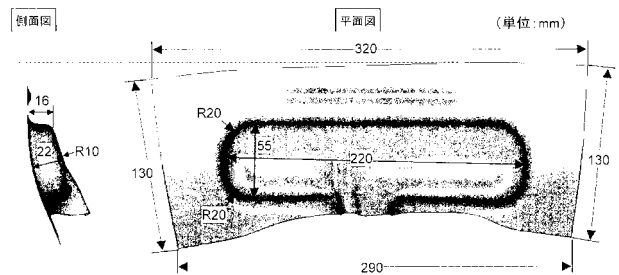
【 図 9 】



【 図 8 】

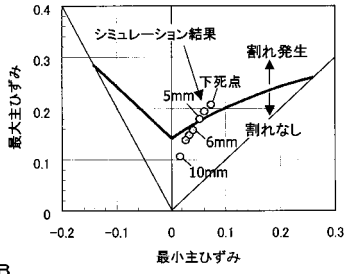


【 図 10 】

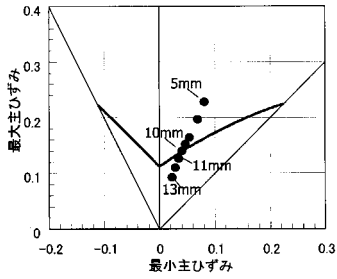


【 図 1 1 】

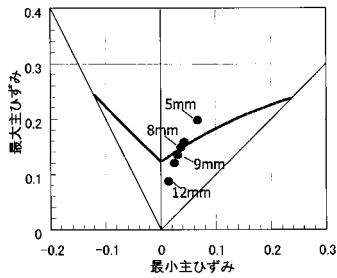
(a) 鋼板A



(b) 鋼板B

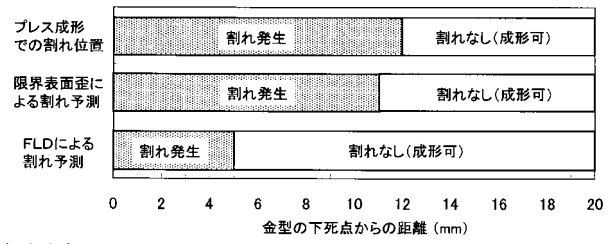


(c) 鋼板C

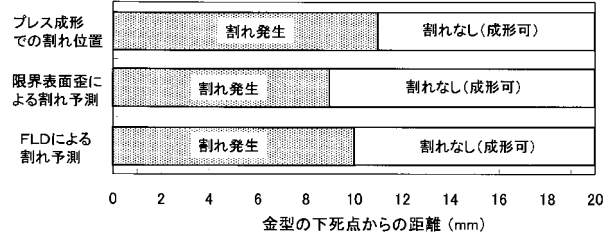


【 図 1 2 】

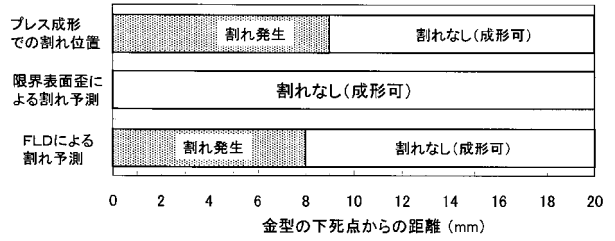
(a) 鋼板A



(b) 鋼板B



(c) 鋼板C



フロントページの続き

- (72)発明者 山 崎 雄司
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- (72)発明者 樋貝 和彦
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- Fターム(参考) 5B046 AA05 JA01 JA08