

逐次的な板鍛造による局所増肉成形法の開発

松田豪彦*

Development of Partial Thick Forming Method by Using Sequentially Sheet Metal Forging

Takehiko MATSUDA

本研究では、中板素材に対して横パンチと縦パンチで逐次的に鍛造加工し、盛り上がり部を立体造形する局所増肉成形法を開発した。同成形法は、複数のパンチを擁する1セットの金型の中で、横方向と縦方向から複数のアクションでパンチを動作させ、逐次的に鍛造加工する。順送による板鍛造後の打抜き加工と比較して素材の廃棄が発生しないうえ、立体造形する上で半抜き加工を必要としない成形法である。本報では、解析と検証実験により、目的の成形品を得ることと、複数のアクションで成形することで、パンチの加工荷重と最大主応力の増大を抑制できることを確認したので報告する。

Keyword : 鍛造, 板鍛造, 局所増肉, 立体造形, 盛り上がり部成形

1. 緒 言

自動車部品には、ドアロック部品やシート部品など金属製厚板面上に円形状や楕円形状の盛り上がり部がある部品が広範に利用されている。この盛り上がり部は、他の部品との嵌合等に用いられ設計上必要な部位となる。これらの部品の成形は、コイル状に巻かれた厚さ3～6mmの中板が素材に用いられる。立体形状となる盛り上がり部は、板鍛造金型へ順送された素材を盛り上がり部とは反対側の面（以下、裏面）からパンチで押圧し、裏面に半抜きの窪み形状を形成することにする¹⁾。さらに、輪郭形状は、板鍛造後の別工程で輪郭に合わせて打ち抜くことで形状を得ている。打ち抜き加工後の不要な部分は廃棄されており、部品によっては廃棄率が7割に達する²⁾。そのため、素材の歩留まり悪化や複数の金型を要することによる工程増加が課題となっている。

そこで、本研究では、1セットの金型内で素材を左右方向から複数のパンチで逐次的に加圧する逐次鍛造法³⁾の考え方を応用し、輪郭の成形と盛り上がり部を立体造形する技術を開発した。1セットの金型内でこれらの成形を全て行う型構造を設計し、複数のアクションで鍛造加工する解析を行って、素材から目的の成形品を得られるか検証した。これらの検証をもとに実試作を行い、輪郭成形と盛り上がり部を立体造形した。素材にはコイル板材ではなく直方体の中板材を用い、輪郭と盛り上がり部を1セットの金型の中で逐次的に板鍛造することによって、局所的に増肉された目的形状に成形する。さらに、打ち抜き加工に見られる素材廃棄を無くし、盛り上がり部の裏面に窪みのない

局所増肉成形法を開発したので報告する。

2. 局所増肉成形法の原理

2. 1 型構造モデル

県内企業が受注している自動車用のドアロック部品やシート部品は、部品の機能上、左右方向に非対称かつ前後方向対称の形状が多くあることから、本研究で板鍛造する形状は、代表的な形状や寸法を模したものとした。板鍛造前後の素材と成形品の形状概略を図1に示す。左図は、鍛造前の素材形状であり、厚さ5mmの板材を使用した。右図は、目標とする成形品の形状である。一方が130°のV字状で、他方が半径14mmの円弧状の輪郭を持つ紙面左右方向に非対称かつ前後方向に対称の板形状で上面中央部に楕円状の盛り上がり部を有している。盛り上がり部の高さは、部品の用途によって異なってくるが、本研究では板厚の半分とし、局所増肉成形法を適用した非拘束成形で得られる形状を確認するため、公差は±0.6mmとした。打ち抜き加工を行わずにV字や円弧形状の輪郭および盛り上がり部の成形時には、パンチの加工荷重が増大し、成形パンチの破損が懸念される。

本研究の成形技術は、直方体の素材を鍛造により成形品の形状に塑性変形させる技術である。本来、素材と成形品の容積は一致することが理想であるが、素材を切り出し加工する際と成形品に鍛造する際にそれぞれ微小な加工誤差が生じる。この影響による容積誤差は成形品の盛り上がり部の寸法公差内で収めることで対応する。今回、図1で示した成形品形状の場合、盛り上がり部の面積が44.6mm²、高さ2.5±0.6mmであり、許容できる容積の誤差は±26.8mm³となる。この数値から素材を切り出す際の寸法誤差を試算

*生産技術部

した結果を表 1 に示す。試算の結果から切り出し加工における寸法誤差の許容範囲は±0.033mmであり、県内企業が有する加工装置で十分対応できる精度である。

本研究で開発した局所増肉成形法の型構造モデルを図 2 に示す。2つの横パンチ先端間のほぼ中心に素材があり、

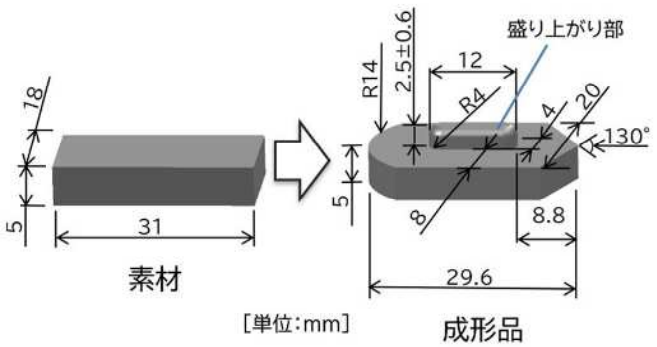


図 1 素材と成形品の目標形状

表 1 成形品の寸法公差内に収めるための素材寸法誤差の試算

	X	Y	Z	容積 [mm ³]	
素材の仕様寸法 [mm]	31	18	5	2790	
成形品の容積許容範囲は:±26.8mm ³ (盛り上がり:44.6mm ² ×2.5±0.6mm)					
寸法誤差 [mm]	X	Y	Z	容積 [mm ³]	容積差分 [mm ³]
0.033	31.033	18.033	5.033	2816.558	26.558
-0.033	30.967	17.967	4.967	2763.560	-26.440
寸法誤差 [mm]	X	Y	Z	容積 [mm ³]	容積差分 [mm ³]
0.034	31.034	18.034	5.034	2817.364	27.364
-0.034	30.966	17.966	4.966	2762.760	-27.240
【試算結果】素材の加工誤差の許容範囲:仕様寸法±0.033mm					

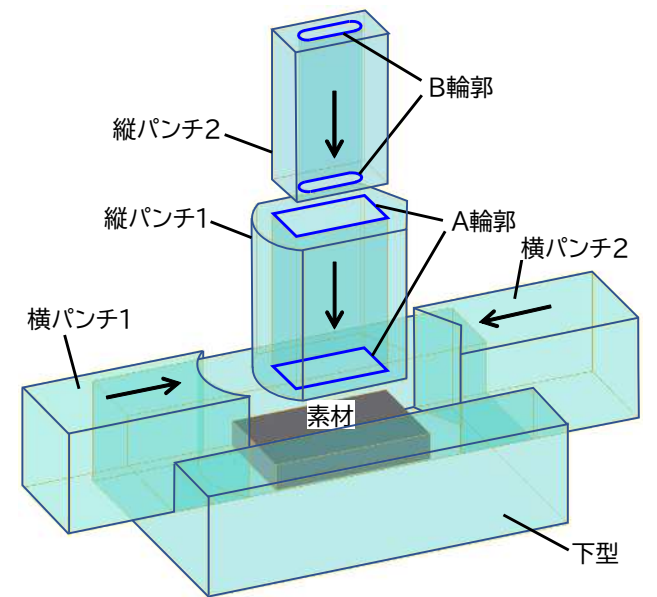


図 2 局所増肉成形型構造モデル

素材の底面側は下型に接している。ここで、下型はU字状であって、素材の手前側と奥側には下型の型壁があり、素材の紙面手前側と奥側を拘束する働きをする。素材の左側には、半径14mmの円弧形状の横パンチ 1、右側には130°のV字形状の横パンチ 2があり、両横パンチは同じ移動量で左右から円弧およびV字形状の面で挟み込むように素材を加圧する。素材の長辺は横パンチの動きと平行な向きとしており、両横パンチが同時に素材と接触する。

素材の上方にある縦パンチ 1 と縦パンチ 2 の概要を図 3 に示す。縦パンチ 1 には、A 輪郭 (18×10mm) の貫通穴があり、縦パンチ 2 がその中を摺動する。縦パンチ 2 には、盛り上りを成形するための B 輪郭 (12×4mm、両端円弧半径 2 mm) の貫通穴がある。本成形法の有効性を確認するために当たって、成形される盛り上がり部の形状を含めて確認するため、盛り上がり部が中心になるよう A、B 輪郭の位置を設けた。それぞれの縦パンチが素材を上方から加圧して板鍛造する構造とした。また、縦パンチ 1 の外側面は、横パンチ 1 の円弧形状面と横パンチ 2 の V 字形状面の双方と合致する形状となっている。加工前に両横パンチの先端は、縦パンチ 1 の側面から 5 mm の隙間を設けた。

従来の手法と本報の局所増肉成形法の相違についての比較を表 2 に示す。同成形法は、成形品に窪みが発生せず、素材の廃棄がほぼ 0 % となる成形法である。

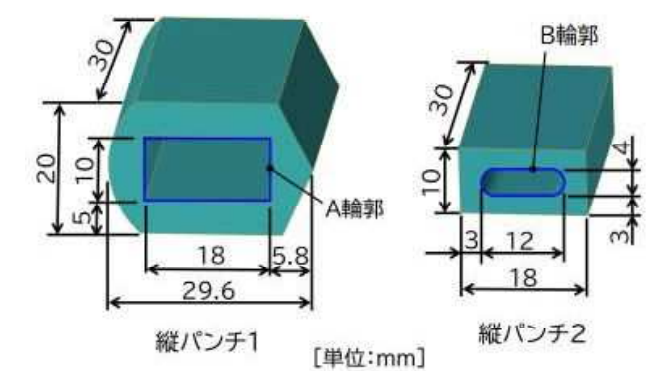


図 3 縦パンチ 1 と縦パンチ 2 の概要

	従来の手法	局所増肉成形法
素材送り	順送	素材の移動無し
	(一列に並んだ複数の工程毎の金型内 (上型・下型の間) を順送り進む)	(1 セットの金型の中で成形が完了する)
盛り上がり部の成形	複数の金型を用い、金型の数だけ裏面側から押圧して成形 (裏面に半抜き形状の窪みが発生)	2 種類の縦パンチで上方から押圧し、押す方向と逆方向に押出して成形 (窪みは発生しない)
輪郭の成形	打ち抜き加工による成形 (素材の約 70 % が廃棄される)	左右からの横パンチによる成形 (素材の廃棄はほぼ 0 %)

表 2 従来法と局所増肉成形法の比較

2. 2 局所増肉成形の動作

局所増肉成形法は、横、縦の順に各パンチが動作して素材を加圧し、逐次的に鍛造を行う。本研究では、各パンチの動作は3段階とし、それぞれの動きを第1～第3アクションと呼ぶこととする。

第1アクションの概要を図4に示す。以後、型構造モデルの下型は見かけ上省略する。同アクションでは、直方体の中板素材を左右の横パンチによって加圧する。加圧により横パンチに接した面におおまかな輪郭が成形される。成形中に素材を密閉状態にするとパンチへ過度な応力が発生する恐れがあるため、縦パンチを素材から離すことで素材上部に空間を設けた。なお、縦パンチ1を非固定の状態では素材に接触させることも考えたが、縦パンチ1の側面と両横パンチとの間に素材が入り込む恐れがあるため、接触させないこととした。また、素材上側には空間があることから、加工品は上側へ変形し、凸状になることが予想される。

第2アクションの概要を図5に示す。同アクションでは、縦パンチ1が上方から素材上端部を押圧する。ここで、両横パンチは、第1アクションの最終位置で保持したままの状態であり、すべての成形が完了するまで位置は変わら

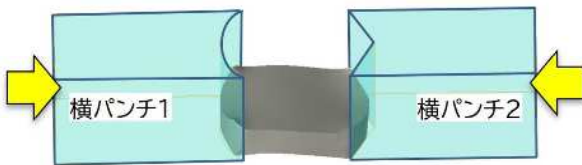


図4 第1アクションの概要

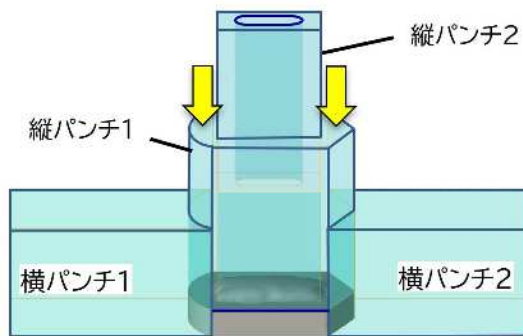


図5 第2アクションの概要

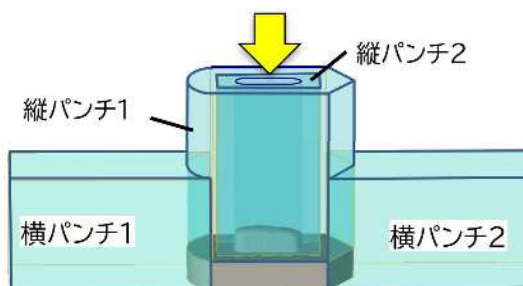


図6 第3アクションの概要

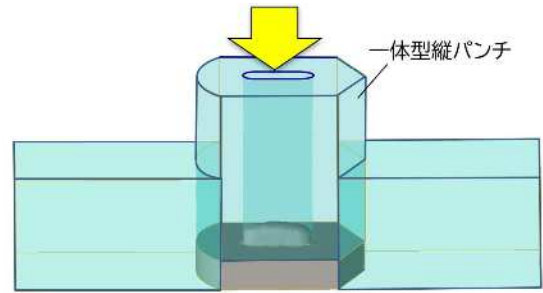


図7 一体型縦パンチを用いた型構造モデル（第2アクション）の概要

ない。第1アクションで成形された形状が凸状になっていても、上端部を平坦に成形し、同時に左右の横パンチの円弧形状部とV字形状部に素材を完全充満させ輪郭の成形を完了させる。また、図2の縦パンチ1に設けたA輪郭内側では、縦パンチ1の加圧方向とは逆方向に素材が塑性流動する後方押出しによって盛り上がる。この間、縦パンチ2は静止状態で加工前と同じ位置にあり、成形中の密閉状態を避けるため、素材から離れた状態である。

第3アクションの概要を図6に示す。同アクションでは、縦パンチ1のA輪郭貫通穴に収納された縦パンチ2が、図2に示すAおよびB輪郭の間の領域を上方から押圧し、B輪郭内で後方押出しによって素材に盛り上がり部が成形される。この間、縦パンチ1はその場で静止した状態である。なお、機構等の制約上、背圧機構は採用しなかった。

このように、1セットの金型内で3回のアクションを行い逐次的に素材を鍛造し、部品輪郭を成形しつつ盛り上がり部を立体造形する。

なお、横、縦の順に各パンチを動作させているが、逆にした場合は縦パンチ1と両横パンチとの間に素材が入り込む恐れがあるため、本成形法では、横、縦の順に各パンチを動かすこととした。

本成形法では二体の縦パンチを用いているが、本来、後方押出しに用いるパンチは一体のみを使用することが一般的である。従来の後方押出しを用いた型構造モデルを図7に示す。すなわち前述までの縦パンチ1と縦パンチ2を一体型にした縦パンチである。本研究では、一体型の縦パンチを使用して第2アクションまでで成形を完了させた場合についても検討した。縦パンチを一体型にした場合と、上記のとおり2つの縦パンチに分けて第3アクションまで行った場合のパンチに発生する最大主応力を調べ、縦パンチを2つに分けることで得られる効果について検証する。

3. 成形解析

3. 1 解析条件

局所増肉成形法の第1～第3アクションについて、商用

鍛造解析ソフト (QForm UK) を用いて解析を行った。解析条件として、素材はアルミニウム合金A5052で剛塑性体とし、各パンチや下型は剛体と仮定した。実際の自動車部品には鉄系材料が用いられることが想定されるが、アルミニウム合金A5052は鉄系材料と同じ加工硬化型の材料であることから、同様の成形結果が得られ本報の局所増肉成形法を適用できると判断し、同合金を用いた。摩擦係数1.2、パンチ速度は全てのパンチで1.0mm/s、環境温度は20℃とした。第1アクションにおける両横パンチは、左右の横パンチの中央に置いた素材の四角とほぼ同時に接してから横パンチ間の距離が成形品の横方向の寸法と同じになるまで移動させた。

横パンチにはV字形状や円弧形状があり、応力集中の発生が懸念される。この懸念に対し計算機シミュレーションによって輪郭成形するパンチに発生する加工荷重や最大主応力の分布を調べ、パンチの厚さを最適にすることで応力の低減を試みた。加工荷重が最大となったときに加圧によって生じる成形反力を利用してパンチの最大主応力を解析した。横パンチ板厚を5mm、10mm、15mm、20mm、30mmにした5つの条件で解析を行い、横パンチに発生する最大主応力値を評価項目として横パンチ板厚の適正値を求めた。

第2アクションでは、第1アクションで上側へ変形することを見越して、図2における縦パンチ1が素材に接してから成形品の板厚が5mmになるまで降下させた。第3アクションでも同じく、図2のA輪郭とB輪郭間の領域を板厚が5mmになるまで縦パンチ2を降下させた。このように盛り上がり部の成形において、2種類の縦パンチで素材を上側から加圧する後方押し出しを適用することで、加工荷重低減方法の効果を検証した。

3. 2 各アクションにおける解析結果および考察

第1アクションにおける横パンチ板厚と横パンチに発生した最大主応力の最大値との関係を図8に示す。横パンチ板厚が5mmの場合、最大主応力は560MPaとなったが、横パンチの板厚が増えるにつれ最大主応力は低下した。板厚が20mm以上では120MPaに収束した。横パンチに大きな引張応力が発生するとパンチが破断する恐れがあり、小さくなることを望ましい。このことから、最大主応力が下限となる20mmを採用することとした。板厚が20mmの横パンチに発生した最大主応力分布を図9に示す。最も大きい最大主応力は、横パンチ1の円弧形状部底面側に発生した。

第1～第3アクションで得られた成形品を図10に示す。第1アクションでは左右の横パンチからの加圧により素材が上側へ湾曲し、底面部が最大1.8mm上昇し、隙間が発生した。また、図中に示す素材端部の四隅に凸状の角が成形され、上下の角の頂点間は最大9.5mmとなった。

第2アクションでは、湾曲が消え端部の四隅にあった角が平坦になって外側輪郭の成形がほぼ完了した。また、素材の中心部には高さ1mm程の盛り上がりが成形された。

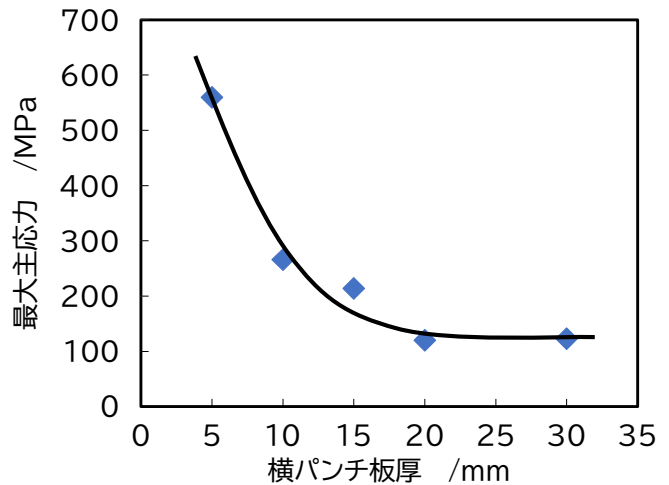


図8 横パンチ板厚と最大主応力の最大値との関係

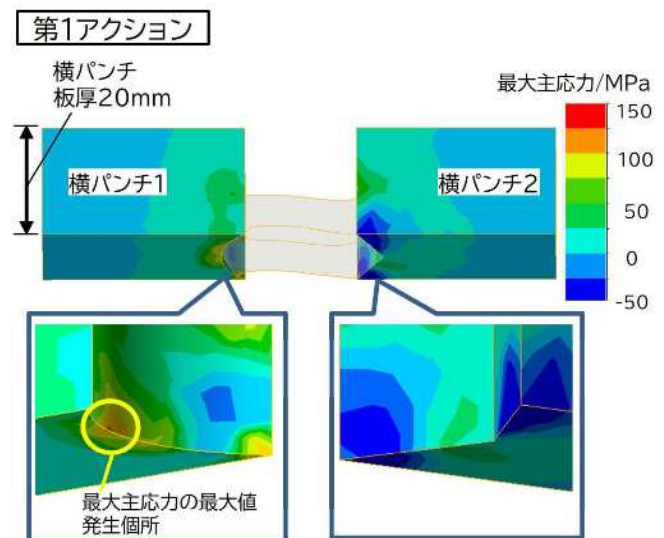


図9 横パンチの最大主応力分布図

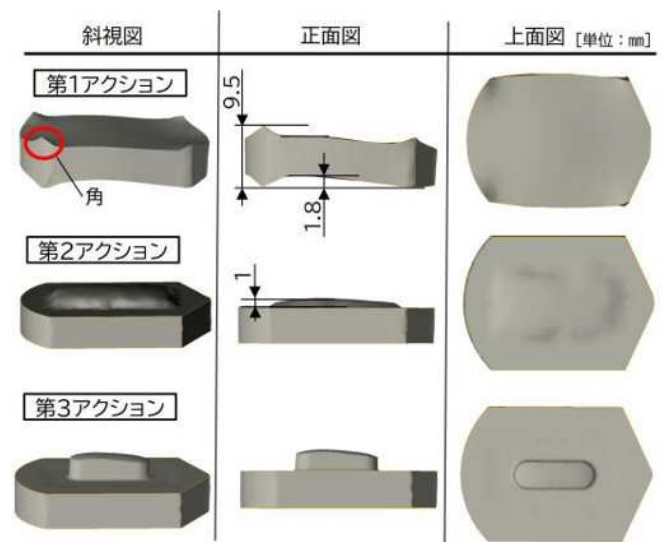


図10 第1～第3アクションによって得られた成形品形状

第3アクションでは、縦パンチ2に設けられた楕円状の貫通穴の中を素材が上昇し、盛り上がり部が成形された。盛り上がり部先端は平坦になってはいないが、その高さは2.5mmに達し、目的の成形品寸法を得られることがわかった。なお、盛り上がり部先端を平坦面にする必要がある場合は、上方から端面押しをすることで平坦面にすることができる⁴⁾。

最大荷重値は、各アクションとも加工終了時が最大となり、第2アクションでは190kNに達した。なお、第3アクションでは153kNとなり、第2アクションの最大荷重を下回った。これは第2アクションの縦パンチ1が第3アクションの縦パンチ2に対し加圧面積が2.4倍であることが影響していると考えられる。

各アクションにおけるパンチの最大主応力を図11に、各アクションにおけるパンチの最大主応力分布部を図12に示す。図12は全てのパンチを底面側から見た図である。また、素材は見かけ上省略しており、各アクションとも加工荷重が最大の加工終了時における最大主応力分布を示している。最大主応力が最も大きくなったのは、第2アクションであり、縦パンチ1の円弧形状部に発生した最大主応力は1000MPaに達した。第3アクションでは、縦パンチ1に最大主応力670MPaが発生した。加工荷重および最大主応力ともに第2アクションが最も大きくなる結果となった。いずれのアクションでもパンチ素材に用いる合金工具鋼SKD11の破断応力1810MPaを下回っていた。

縦パンチ1と縦パンチ2を一体型にした縦パンチを用いて第2アクションまでで成形を完了させた場合の解析結果について、加工終了時における縦パンチと横パンチの最大主応力分布を図13に示す。最大主応力分布は、盛り上がり部を成形する楕円状の貫通穴部に応力集中が発生した。その最大主応力は4000MPaに達し、合金工具鋼のパンチでは破損する値となった。加工終了時における加工荷重の最大値は555kNに達していた。縦パンチ1と縦パンチ2を二体型とした場合に比べ、最大荷重が約3倍近くなる結果となった。

以上により、一体型縦パンチを用いて第2アクションで成形を完了させた場合では、加工荷重の増大および過度な応力集中の発生を招くことがわかった。また、加工荷重の増大は最大主応力の増大を招き、それに耐えられるパンチの材種や金型構造が必要になるため、加工荷重は低減させることが望ましい。そのため、縦パンチ1と縦パンチ2を用いて複数アクションで成形する局所増肉成形法は、加工荷重を分散させて低減する効果を得られると考える。

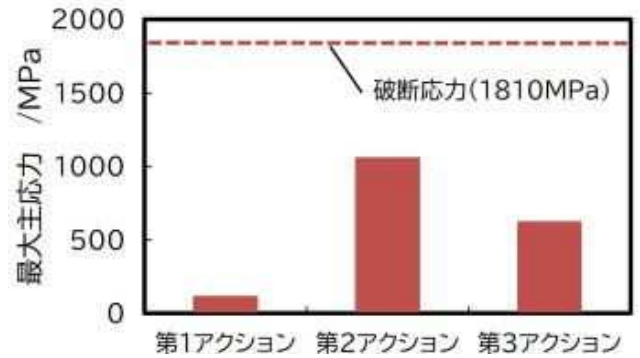


図11 各アクションにおけるパンチの最大主応力

最大主応力分布

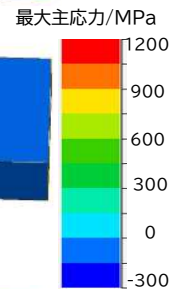
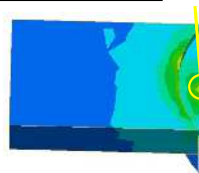
第1アクション



第2アクション



第3アクション



最大主応力の最大値発生箇所

図12 各アクションにおけるパンチの最大主応力分布図

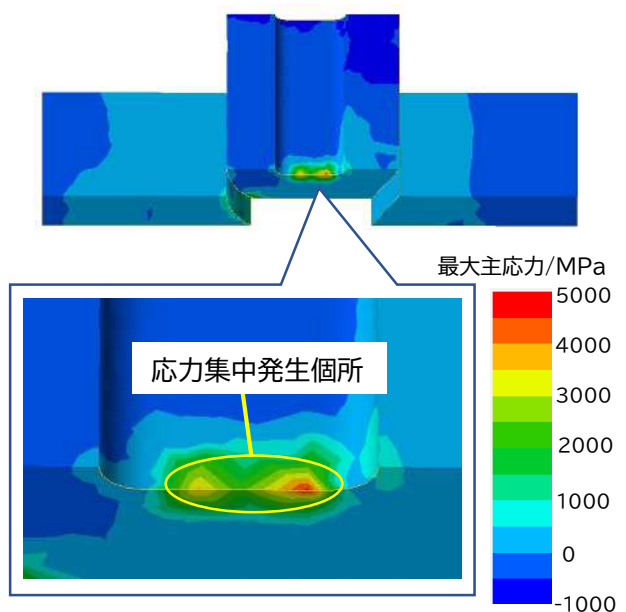


図13 一体型縦パンチを用いた場合の第2アクションにおける最大主応力分布（半断面図）

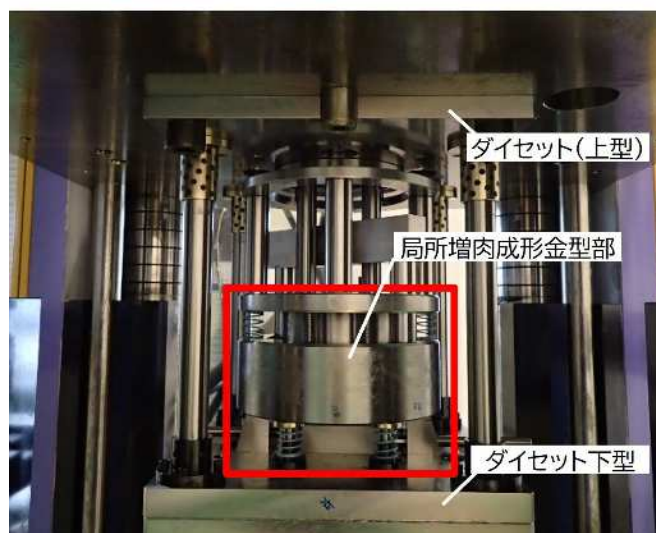


図14 多軸油圧サーボプレス機（上方）と金型（下方）

4. 検証実験

4. 1 実験条件および金型

解析結果に基づき、第1～第3アクションまでを1セットの金型の中で行う局所増肉成形用の金型を設計・製作し、多軸油圧サーボプレス機（MHC製 MJP333-5A32）（以下、プレス機）のボルスターに設置して検証実験を行った。プレス機と製作した金型を図14に示す。プレス機は、降下する3軸、上昇する2軸を有しており、各軸とも独立して動作する。本研究では、降下の3軸を使用して検証実験を実施した。

局所増肉成形金型の半断面図を図15に示す。中心軸の左側が成形前、右側は成形後である。第1アクションでは、プレス機の1軸目が75°の傾斜がついた傾斜治具Aを押下

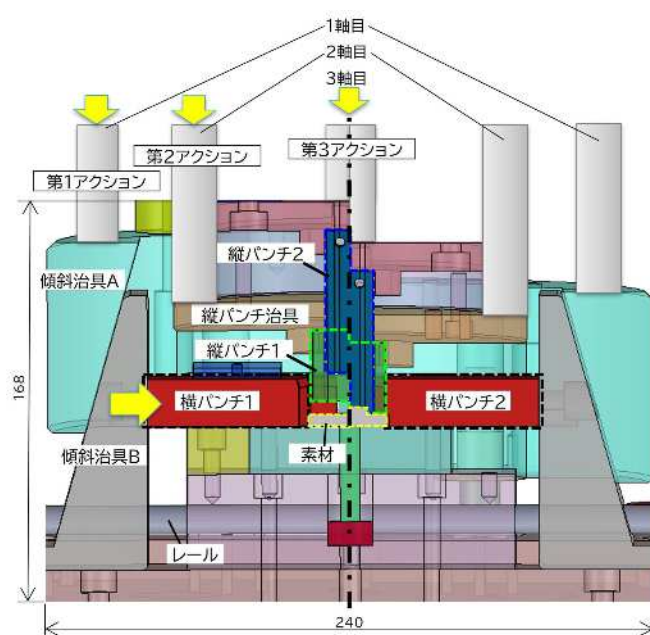


図15 局所増肉成形金型の半断面図

げ、傾斜治具Bを介して加圧方向を横向きに方向転換させる。5mm押下げたときの横パンチの移動量は1.2mmである。この間、傾斜治具Bが水平に移動できるように同治具内にレールを通してある。第2アクションでは、プレス機の2軸目が縦パンチ治具を押下げる、同治具に締結された縦パンチ1を押下げる。第3アクションでは、プレス機の3軸目が縦パンチ2を押下げる。各アクションでの素材を加圧する動作は図4、5、6と同様である。降下する3軸は、図中の位置から150mm上昇させることができ、素材の投入および成形品の取り出しは手動で行った。

検証実験は室温で行い、素材と金型間の潤滑は鉍物系オイルを使用した。また、各治具間においても摩耗対策のため同オイルを使用した。プレス機の押圧速度は、第1アクションが5mm/s、第2アクションは1mm/s、第3アクションは4mm/sとした。各アクションの速度が異なるのは、金型の構造により、第1アクションで傾斜治具を使っていることと、素材から離れた位置に縦パンチ2があり第2アクション後に時間差なく素材へパンチを到達させて第3アクションを行うためである。

4. 2 実験結果および考察

各アクションで測定したパンチの加工荷重とストロークの関係を図16に示す。なお、各アクションともグラフからパンチの空走区間は除外している。第1アクションで素材が上側へ湾曲したため、第2アクションでは縦パンチ1が接触する位置が解析時より高い位置となっておりパンチストロークが長くなっている。

最大加工荷重は、第1アクションでは成形途中で18kNとなったが、第2アクションでは191kN、第3アクションでは123kNとなり、加工終了時が最も大きくなった。前述の

解析結果では、それぞれ55kN, 190kN, 153kNであり、第1アクションが低く、第2アクションが最も大きく、第3アクションでは第2アクションを下回る傾向は、前述の解析結果と同様の結果となった。検証実験の加工荷重は、解析結果の加工荷重に対して、第1アクションで37kN, 第2アクションで1kN, 第3アクションで30kN小さい値となっており、第1アクションが最も加工荷重が小さくなった。また、最大加工荷重は、一体型縦パンチを用いた解析結果での最大加工荷重555kNの1/3以下となっており、複数のパンチおよび複数のアクションで成形することによる加工荷重の低減効果が得られることを検証実験においても確認できた。

検証実験により各アクションによって得られた成形品を図17に示す。第1アクションでは、横パンチによって素材に輪郭形状の約2/3が成形された。なお、第1アクションでは、素材の上側を空間にして左右の横パンチで加圧することで、図10に示す解析で得られた形状よりも中心部が上方に湾曲した形状になった。最も湾曲した個所では、底面部から最大4mm上昇し、底面からの隙間は2.2mm大きくなった。素材端部の四隅には凸状の角が成形されたが、上下の角の頂点間は最大6.9mmとなり図10に比べ2.6mm小さくなった。また、図10では円弧形状の横パンチ1に接した素材左側が上方へ移動し、角も大きくなったが、検証実験では素材左右の位置にほぼ差は無かった。解析と異なる結果となった理由として、本研究の解析では摩擦係数を0.2として解析したが、実際の加工では成形中に摩擦係数が増加方向に変化していることが考えられる。そのため、摩擦の影響で素材の左右が上方へ動かずに、代わりに素材中心部が解析結果よりも湾曲したと思われる。

第1アクションの加工荷重が解析結果の加工荷重に対して最も小さくなったことも、検証実験で得られた形状が、解析結果よりも湾曲したことが影響していると考えられる。

第2アクションでは、縦パンチ1によって上端面が押圧され輪郭の成形が完了していた。また、中心部に高さ1mm程の盛り上がり成形された。第3アクションでは、中心部に楕円状の盛り上がり部が成形され、盛り上がり部の高さは2.5mmに達しており、局所的に増肉された形状が得られていることを確認した。なお、盛り上がり部の先端を平坦面にする場合は、3.2節にも記載したとおり盛り上がり部先端を端面押しパンチで上方から加圧することで平坦面にすることができる⁴⁾。盛り上がり部の高さは公差内に収まっていたため、ここで成形完了とした。成形品上面の縦パンチ1と縦パンチ2との境界部には、長方形の輪郭状につながったバリの発生が見られた。バリの厚みは0.1mmであり、バリの高さは最も高い部分で0.6mmに達した。こ

れは縦パンチ1の中を縦パンチ2がスムーズに移動することを優先して設計したことで、両縦パンチ間に0.05mmの隙間があることでバリが発生し、さらにパンチの弾性変形によってバリの厚みが増したと考えられる。このバリは成形後にバリ取り工程で除去できると考える。バリ除去後の体積減少分は、表1の素材寸法誤差の試算を反映させることが望ましいが、本研究では省略した。また、加工前の素材硬さはHV53であったが、成形後は上面の角部5個所における硬さの平均はHV80となり、盛り上がり部先端面ではHV64となった。鍛造加工によって硬さが向上していることを確認した。

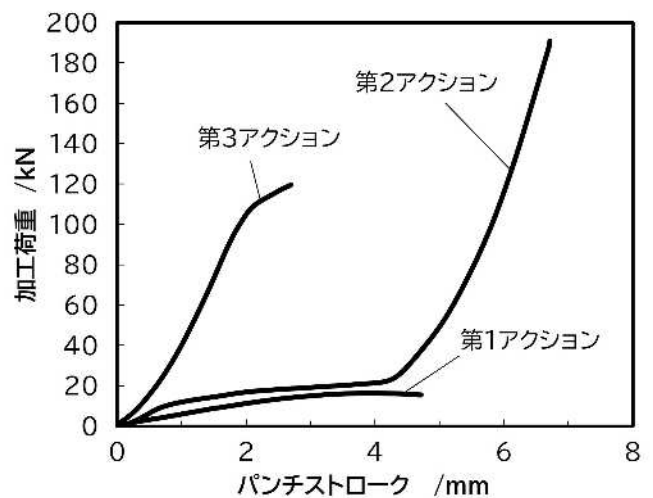


図16 検証実験でのパンチストロークと加工荷重の関係

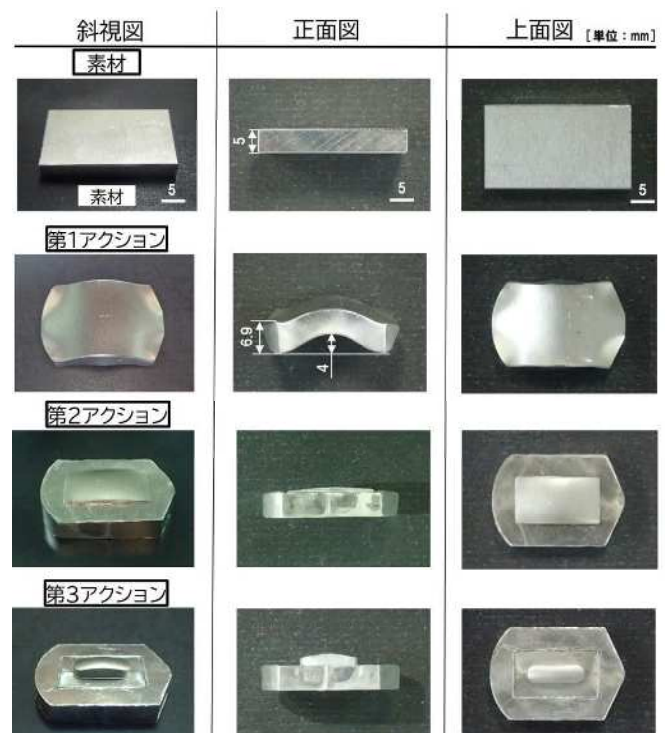


図17 各アクションごとの成形品

5. 追加検証解析

本研究報では、図1に示す成形品を得る局所増肉成形法の開発を行ったが、同図の成形品と異なる形状であっても適用可能か検証を行った。3.2節で示した解析結果に対し、縦パンチ2をさらに降下させ、成形品の上面に縦パンチ2が押圧することによる凹みを成形しつつ、後方押出しにより盛り上がり部を前章までよりも更に高く成形させる解析を行った。板厚を超える盛り上がり部の高さが5mmに達するまで成形させた。

得られた成形品形状の斜視図と、加工終了時における全てのパンチに発生した最大主応力分布を底面側から見た図を図18に示す。盛り上がり部周辺の成形品上面には深さ約0.4mmの凹み形状が成形され、板厚を超える盛り上がり部の高さは5mmに達した。加工終了時における加工荷重の最大値は157kNとなり、縦パンチ2に発生した最大主応力の最大値は1500MPaとなったが、パンチ素材に用いる合金工具鋼SKD11の破断応力以下であった。この結果から、局

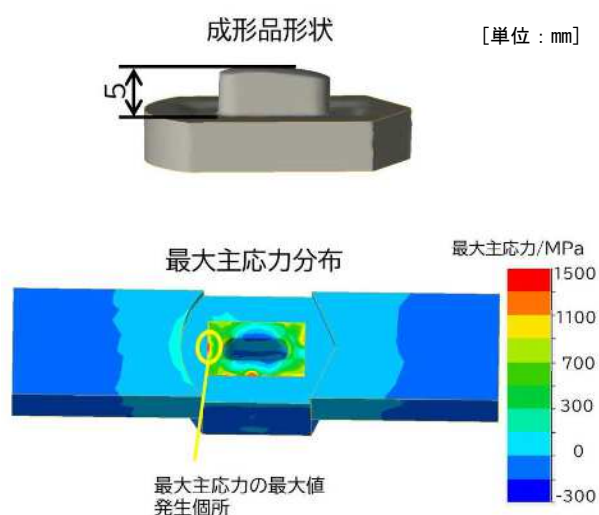


図18 成形品形状およびパンチの最大主応力分布

所増肉成形法を用いることで、図1の盛り上がり部と異なる高さの成形品を得ることができる考える。

以上により、局所増肉成形法によって打抜き加工を行わず、プレス機は1台、金型は1セットのみで輪郭を成形し、盛り上がり部がある部品形状を立体造形できることを確認できた。従来の成形法では、順送によって複数の金型を要し、金型の数だけの工程を経て、打ち抜き加工では素材の約70%を廃棄していた。それに対し、本成形法は、金型数や工程数は大幅に減少し素材の廃棄はほとんど発生しないため、経済性に優れている。

6. 結 言

本研究における研究成果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 複数のパンチで逐次的に板鍛造し、盛り上がり部を立体造形する局所増肉成形法を開発した。
- (2) 輪郭と盛り上がり部を成形できることや、3つのアクションによる分散効果で加工荷重と最大主応力の増大を抑制できることを解析と検証実験によって確認した。
- (3) 同成形法は、複数の金型を必要としないうえ、素材の廃棄がほとんど発生しない成形法であることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 王 志剛：精密工学会誌，12(80)，1049-1051 (2014)
- 2) 牟禮雄二，瀧脇健二：鹿児島県工業技術センター研究報告，32，29-34 (2018)
- 3) 特許第6733896号「逐次成形装置及び逐次成形方法」，(2020)
- 4) 松田豪彦，桑原田 聡，堀之内悠介：鹿児島県工業技術センター研究報告，34，25-31 (2020)