

令和元年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「インフレータケースの工法転換を実現させる高強度鋼板による
超深絞り成形加工技術の構築」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局	近畿経済産業局
補助事業者	一般社団法人日本金属プレス工業協会
	朝田金属工業株式会社
	高千穂合金精工株式会社
	国立研究開発法人理化学研究所

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
(1) 研究開発の背景	2
(2) 研究目的	3
(3) 研究目標	5
(4) 実施結果	5
1-2 研究体制	6
(1) 研究組織	6
(2) 管理体制	6
(3) 研究者及び協力者一覧	6
1-3 成果概要	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
1. 超深絞り成形不良対策課題への対応	9
1-1 材料の機械的特性に関する把握	9
1-2 成形シミュレーションプログラム開発	10
1-3 実験結果対解析結果比較による解析手法の最適化	10
2. 「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」	
プレス成形不良対策課題への対応	11
2-1 「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」	
に関するプレス成形方法の検討	11
2-2 基本形状に対する成形限界の把握	12
2-3 プレス成形実験による成形条件の検討	12
3. リンクプレス機械を利用した連続生産自動化課題への対応	13
3-1 連続生産自動化に向けた搬送方法の検討	13
3-2 プレス成形実験による生産性検証	14
3-3 生産性に対する成形条件最適化	15
4. 車両構成部品としての機能検証	15
第3章 全体総括	16
3-1 総括	16
3-2 今後に向けて	16

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1)研究開発の背景

(三)精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(3)その他の川下分野に関する事項

a. 自動車分野に関する事項

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 衝突時の安全性の向上

市販の乗用車は、衝突した場合を想定し、乗車中の人のけがを軽減する構造・装置を備えている。身近なところでは乗員保護システムの中の1つとしてエアバッグがある。万が一の事故のときに、人のまばたきよりも早い時間でふくらみ、乗員がステアリング・ホイールやダッシュボード、フロントガラスなどの車内構造物へ直接ぶつかる衝撃を緩和する、普段は目にすることのできない安全システムであり、日米欧でほぼ全ての車種に標準装備されるようになっている。

近年では各国の法規、レーティング整備が進み、初期には運転席にしか存在しなかったが、現在では側面衝突時に運転席と助手席のシート外側部分から膨らみ、運転席と助手席の搭乗者の胸部、腹部を保護するエアバッグとして、運転席・助手席の座席サイド部分に内蔵されているサイドエアバッグがある。

エアバッグシステムは多くの部品から成り立っているが、基本的には、センサ、インフレーター、バッグ、回転コネクタ(運転席側のみ)、コントロールユニットから構成されている。車両の衝突による衝撃を感知したセンサからの信号がコントロールユニットを経由して、インフレーター(ガス発生装置)を点火させ、発生したガスにより瞬時にバッグをふくらませる。

実際のエアバッグ作動時間では、センサが衝突を感知すると同時にガス発生装置に着火、約 0.03 秒後にはエアバッグがふくらみきり、乗員を受けとめエネルギーを吸収し、収縮するために、車両の衝突から着火、収縮までは約 0.2 秒以内(瞬き 1 回以下の時間)で完了することが絶対不可欠であり、エアバッグの早期展開が最もニーズの高いエアバッグ高性能化技術となる。そのため、エアバッグを膨らませるために必要となるガスを発生させる装置であるインフレーター内に高性能火薬を採用する等 ガス噴出し時間(TTFG)を短縮することが重要となる。当然、この瞬間的爆発によりインフレーター内部は高圧となることから、金属製の圧力ケース(インフレーターケース)が破損して破片が飛散するようなことが発生しないように、インフレーターケースは瞬間的爆発の高圧に耐えられる機能が求められる。そのため、従来技術の改良では、安全性を重視した上での構成部品の一体化や材質変更等のコスト削減に向けた対策は困難な状況にある。したがって、品質だけではなくコストの点でも競争力を維持するには、格段に優れた新たな工法への転換等パラダイムシフトが求められている。

イ. 軽量化

自動車の快適性及び安全性を向上させるためにサイドエアバッグ等搭載される機器が増え、自動車の重量は年々増加傾向にある。さらに、自動車の衝突安全性を向上させるため、自動車部材の厚さを増加して強度を向上させる傾向もあり、自動車の重量が一層増加している。このため、自動車個々の部品重量を減少させることが望まれている。自動車重量を 100kg 軽量にすると燃費が 1km/ℓ 向上することが知られており、燃費向上及び CO2 排出量削減を実現する上で自動車重量の低減は重要である。

鋼板の高強度化は、強度を維持したまま板厚を小さくして軽量化することが可能であり、軽量化と安全性という相反する難題を解決する方策として非常に有効であり、プレス部品が大部分を占める車体骨格だけではなく、他のプレス成形部品に関しても590MPa 級高強度鋼板の採用される等高強度化が進展している。

しかし、インフレーターケースのように単純な円筒深底形状を有する部品でも、高強度鋼板を使用し、絞り成形加工により製品にする技術は、まだ十分に確立されていないのが現状である。これは、絞り成形加工技術が材料の高強度化に対応できていないことに大きな要因があるとともに、金型造りが従来からの薄板プレス加工技術に依存した金型成形形状創成(修正)とトライアンドエラーに頼っていることに原因があると考えられる。

したがって、従来からの普通鋼板とは異なる成形特性を持つ高強度鋼板の適用、さらに通常のプレス加工と異なる材料変形度が大きい新たなプレス加工法の適用検討等には、従来の KKD(経験・勘・度胸)や通常適用される薄板成形シミュレーションが活用できないことから、高強度鋼板のプレス加工(絞り成形加工)に対応できるソフトウェアの開発が必要不可欠となっている。

(2)研究目的

イ. 複雑三次元形状等を創成する加工技術及び一体加工技術の構築

複雑三次元形状を創成することができる深絞り成形法では、板材料がダイ孔に流入する直前にフランジ部においてダイの縁方向に縮み変形を受けると共に、穴に流入する方向に伸び変形をする縮みフランジ変形と、パンチ頭部では逆に材料の流入方向と直交する方向に伸びが発生する伸びフランジ変形が発生する(図3-1参照)。したがって、同一材料内で発生する「縮みフランジ変形」する部分と「伸びフランジ変形」する部分の変形抵抗のバランスによって、成形限界が生じている。

実際の絞り成形過程では、「縮みフランジ変形」が発生する領域に対しては、しわ抑え工具による板材に負荷するクッション(抑え)圧等を調整することにより、成形限界を緩和させることができる。しかし、「伸びフランジ変形」が発生するパンチ工具先端部周囲は対策を打つことが難しく、通常、成形限界となる要因となっている。

古来からの伝統的な深絞り成形品を造り出す方法として鍛金の打出し技法がある。この技法では、1 軸方向に圧縮を繰り返しながら絞り成形を行なう加工法を実現させるために、パンチ工具とダイ工具の側壁隙間を板材の初期板厚より狭めた板鍛造深絞り成形法により、アスペクト比(高さ／直径比)が 18 以上の容器が成形できることが確認されている。本事業では、打出し技法と同じ1軸の圧縮効果を狙った板鍛造深絞り成形法を基盤として、インフレーターケース部品を適用事例とすることにより、高強度鋼板を使用した冷間プレス加工による超深絞り成形技術を構築する。

しかし、超深絞り絞り成形技術は、従来の材料表面に沿った伸びを基本とする薄板加工と異なるだけではなく、成形過程中的材料変形度が大きいことから実験テクニク的にも相当なスキルが必要とされる。実験的研究成果(技術ノウハウ)だけで短期間に技術ノウハウを蓄積することは困難である。そのため、超深絞り絞り成形技術の構築には、成形性事前検討のための高精度で頑強な成形シミュレーションが必要不可欠である。

従来からの成形シミュレーションは、急激な剛性変化に伴う極度の非線形性の取り扱いが難しいために、金属材料の弾性変形部分を無視した簡便な剛塑性有限要素法(剛塑性 FEM)が採用されている。そのため、しごき成形のような圧縮変形(高静水圧下での加工)で重要となる静水圧応力成分を算出することができず半ば人為的な見積もり(ラフな近似)となり形状精度把握等は難しい。

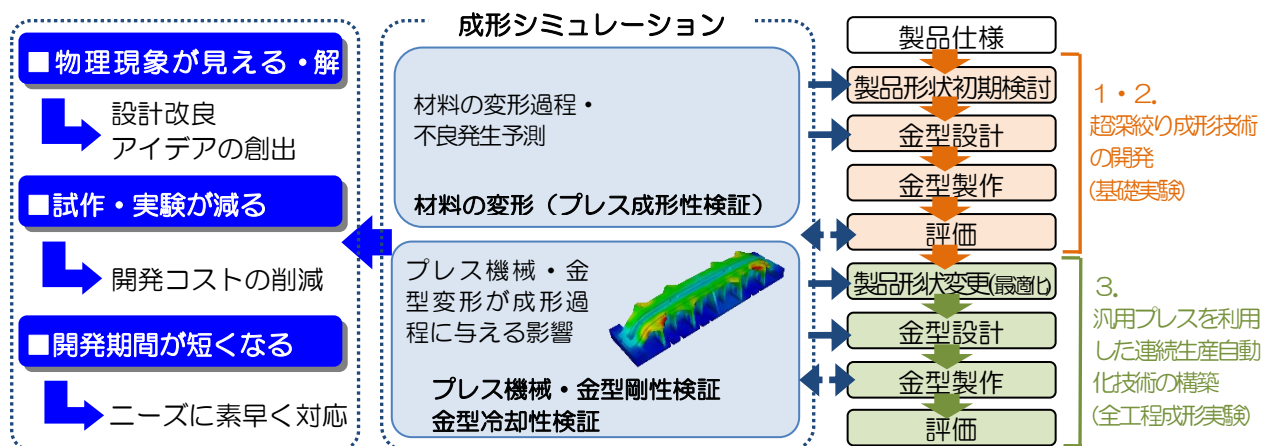


図3-1 成形シミュレーションの活用概要

理化学研究所（共同研究機関）及び理研ベンチャーにて開発された弾塑性 FEM は、不釣り合い力消去アルゴリズムを備えた静的陽解法を採用することにより静水圧応力成分を取り扱うことができ、大きな塑性流動を伴う大変形で生じる大きな不釣り合い力の問題にも対処できる。

本事業では、理研弾塑性 FEM ソフトウェアを導入し、しごき成形等超深絞り成形加工に向けた高度化を図ることにより、実際の成形実験にて直接観察できない成形過程中的材料流動等を仮想的に可視化して成形要因の解明が難しい成形現象メカニズムを明らかにする等、最適策を導き出すための強力な道具として成形シミュレーションを適用する（図3-1 参照）。

ウ. 難加工材・新材料加工の対応

インフレタケースは瞬間的爆発の高圧に耐えられる機能が求められる。そのため、車両重量の低減と耐圧性能向上という相反する要求を満足するため、高張力鋼板の適用が求められる。しかし、高張力鋼板の成形には高い成形力が必要となることから、金型と材料の接触圧力が高くなる。さらに、鋼板が成形される際に引き延ばされた鋼板が型合わせ面に沿って摺動しながら流れ込むため同部に摩擦熱が集中し、型合わせ面の側面が膨張することで鋼板に対して一定の隙間が確保できなくなり、鋼板に亀裂やカジリなどの成形品質不良が発生するとともに、上型の型合わせ面も焼き付く現象が発生すると考えられる。本事業では、板鍛造深絞り成形法により金型から発生する加工熱に対する対策として、上型と下型の金型面にエア抜き穴を設けて、プレス機械のスライドの動きに連動させて圧縮エアを送る機構を備えることにより、量産により金型温度が上昇することを回避させる技術を構築する。

また、板鍛造深絞り成形法はしごき加工を伴うために成形荷重も大きいので、成形するためには高エネルギーが必要となる。しかし、成形時の発熱によるダイの焼付きを避けるために成形速度が制約される。深絞り成形直後の成形品の表面温度とプレス加工速度の関係及び金型焼き付き状態観察から加工速度 100 mm/sec 以下が、成形性、金型寿命に対して良いとされる。そのため、製品を成形するためには、低速にて高エネルギーを発生するプレス機械が必要となる。従来の機械式プレスは、フライホイールの運動エネルギーをプレス加工の作業エネルギーに変換しているため、フライホイールの運動エネルギーが低下する低速での加工ではプレスの保有エネルギーが減少する。

このため、100 mm/sec 以下での加工速度で高エネルギーを必要とする本製品の成形加工には

不向きである。本事業では、低速時でも大きな作業エネルギーが得られるプレス機械（サーボプレスまたはリンクプレス）により、絞り成形始めのストローク位置で 加工速度数十 mm/sec とする等、成形速度のコントロールにより深絞り成形時の発熱を制御した金型の高寿命化を実現させるノウハウを構築する。

（３）研究目標

【１．超深絞り成形不良対策課題への対応】

超深絞り成形加工適用により発生が見込まれる寸法精度不良及び形状不良を設計段階に事前検討・対策することにより、製作段階で金型修正トライアルを繰り返しても部品（OK 品）取得ができない状況（現状）はゼロにする。

適用材料の高強度化に関しては、590MPa 級以上の高強度鋼板にて「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」の超深絞り成形加工ができることを確認する。

【２．「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」プレス成形不良対策課題への対応】

超深絞り成形加工により「インフレーターケース部品」が形状不良等不具合発生なく従来の製造法（管材に蓋をカシメ）による成形品以上の寸法精度及び品質（寸法バラツキ ± 0.015 mm以下）を確保する。

【３．リンクプレス機械を利用した連続生産自動化課題への対応】

プレス機械１台にて１万個／日（８時間）の部品生産量を実現させる基盤として、バリ発生等による成形品搬出後の不良対策工数をゼロとし、トランスファープレス加工により生産サイクルタイム 20spm 以上（３秒／個以下）の生産性を確保する。

【４．車両構成部品としての機能検証】

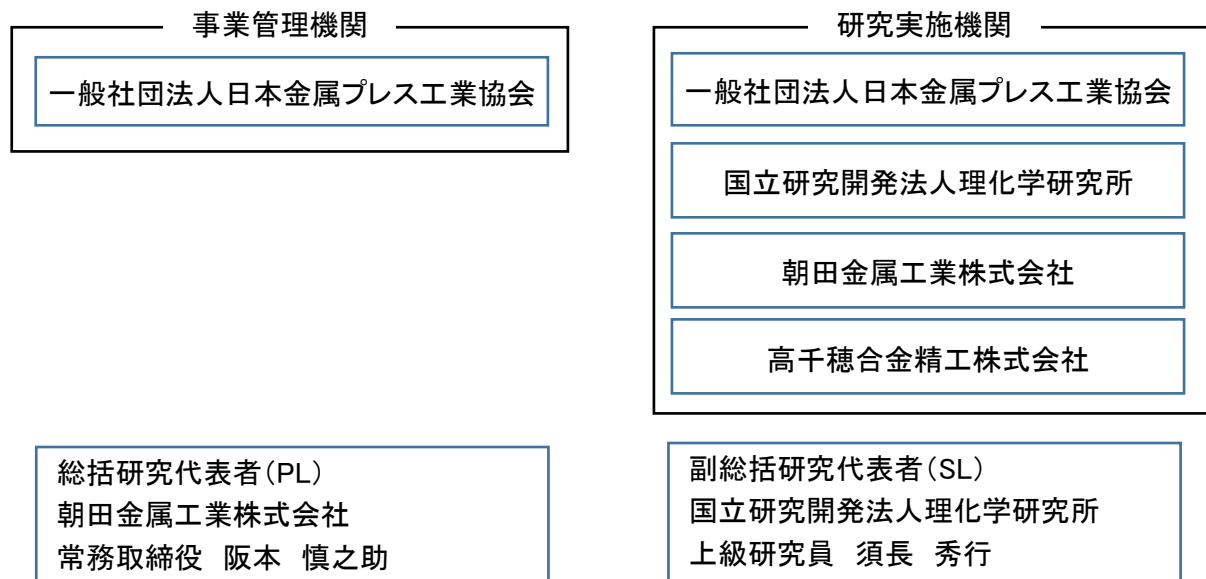
プレス成形品「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」では、従来品に対して部品点数削減（１部品削減）及びかしめによる蓋工程削減を実現させインフレーターとして要求される機能要件を確保する。

（４）実施結果

- 590MPa 級以上の高強度鋼板を使用した複数工程にて構成される超深絞り成形加工により、「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」として仕上がり形状寸法を満足させる試作品を取得した。
- 深絞り成形シミュレーション開発により、成形過程中的材料変形挙動及びわれ・しわ等成形不良が工具モデル情報をもとに計算機上で可視化できる環境を構築した。これにより、設計段階で成形不良を事前に予測して修正することが可能となり、製作段階で造り直しが発生する等 OK 品が取得できない状況を回避する手法が構築できた。
- 超深絞り成形加工により「インフレーターケース部品」が形状不良等不具合発生なく従来の製造法（管材に蓋をカシメ）による製品と同等の寸法精度 ± 0.01 mmであり、寸法のバラツキも ± 0.015 mm以下に確保でき、インフレーターとして要求される機能要件を満足させることができた。
- リンクプレス機械を利用した連続生産による試作トライアルでは、搬送用治具及び金型調整による各工程最適化を図ることにより、生産サイクルタイム 20spm を実現させた。

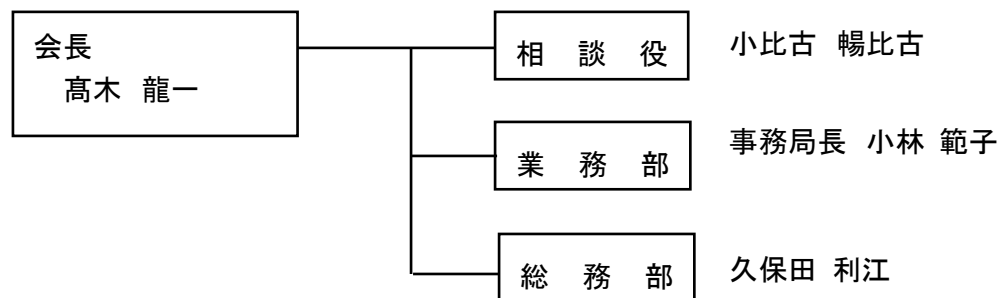
1-2 研究体制

(1) 研究組織



(2) 管理体制

①事業管理機関【一般社団法人日本金属プレス工業協会】



研究者及び協力者一覧

一般社団法人日本金属プレス工業協会

氏名	所属・役職
小比古 暢比古	相談役
小林 範子	事務局長
久保田 利江	総務部

国立研究開発法人理化学研究所

氏名	所属・役職
須長 秀行	光量子工学研究センター 中性子ビーム技術開発チーム 上級研究員
森本 秀夫	光量子工学研究センター 中性子ビーム技術開発チーム 研究員

朝田金属工業株式会社

氏名	所属・役職
朝田 武志	代表取締役社長
阪本 慎之助	常務取締役工場長
篠田 諭	技術課 課長
高松 秀和	安来工場 技術課 課長
阿部 義治	安来工場 工場長
三木 浩資	技術課
福田 学	製造課

高千穂合金精工株式会社

氏名	所属・役職
川西 常司	代表取締役
吉田 秀雄	
渡辺 正人	

協力者(アドバイザー)

氏名	所属・役職
中島 禎浩	株式会社ダイセル 特機・MSD カンパニー MSD 事業部 調達企画部 主席部員

1-3 成果概要

【1. 超深絞り成形不良対策課題への対応】

超深絞り成形加工過程で発生するしごき成形現象等に対応するためにプログラム機能の高度化を行ない、計算が止まる等致命的事象を起こすことなく複数の成形工程を安定的に解析できるとともに、最も頻発する薄肉化による破断現象を評価できることを確認した。

【2. 「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」プレス成形不良対策課題への対応】

通表の絞り成形加工とは異なり、深さ方向に圧縮を繰り返しながら絞り成形を行なうしごき成形法(超深絞り成形加工)に対して、各工程における成形内容及び金型構造等の最適化を図ることにより、590kN 級高強度鋼板を使用したインフレーターケース部品をプレス加工により創成する工法を確立した。

【3. リンクプレス機械を利用した連続生産自動化課題への対応】

連続生産により成形加工速度が上昇することで発生する加工温度の上昇を抑える対策を講じるとともに、プレス機械のスライドの上下運動に同期する加工品搬送システムの最適化を図ることにより、生産サイクルタイム 20spm を実現させた。

【4. 車両構成部品としての機能検証】

590kN 級高強度鋼板を使用した超深絞り成形加工による成形品は、サイドエアバッグ用インフレーターケースとして機能するための寸法精度を有していることを確認した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

一般社団法人日本金属プレス工業協会 茨田 学 TEL: 03-3433-3730

barada@nikkin.or.jp

第2章 本論

【1. 超深絞り成形不良対策課題への対応】

鋼板の高強度化は、強度を維持したまま板厚を小さくして軽量化することが可能であり、軽量化と安全性という相反する難題を解決する方策として非常に有効であり、プレス部品が大部分を占める車体骨格だけではなく、他のプレス成形部品に関しても590kN 級高強度鋼板の採用される等高強度化が進展している。しかし、鋼板の高強度化は、プレス成形性の自由度(成形限界)を減少させる方向にある。そのため、深絞り成形加工等大変形を伴う現象に対して、適用材料の基本的機械特性及び破断限界を把握することが成形工程最適化を図るために重要であり、成形シミュレーション適用するためにも必要不可欠である。

プレス成形実験に使用する590kN 級高強度鋼板に関する基本的機械特性の取得とシミュレーション解析に必要なパラメータ入手、さらに、成形シミュレーション解析の精度検証を実施した。

【1-1】 材料の機械的特性に関する把握

実際のプレス実験にて使用する板厚1.6mmの材料(590kN 級高強度鋼板)を用いて JIS5号試験片を製作し、単軸引張試験を行なった。なお、プレス実験初期段階では、材料を送る(供給する)装置がないころから事前に初期材料として加工済円板を準備するためにシート材を使用し、連続生産による生産性検証段階ではコイル材を使用することから、2種類の材料に対して引張試験により応力-歪線図及び成形解析のための材料データを取得した(図 1-1, 表 1-1 参照)。

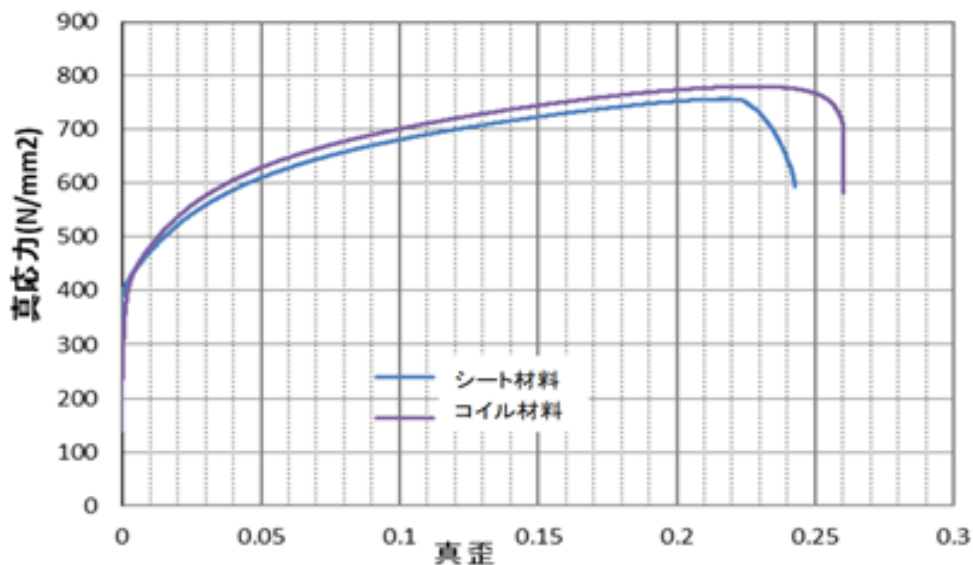


図 1-1 単軸引張試験結果(応力-歪線図)

表 1-1 シート材料・コイル材料の解析用パラメータ

材種	r値	降伏応力(N/mm ²)	Swift の近似式(応力-歪関係式)
シート材料	1.33	410	$\sigma^p = 1007.9 (\varepsilon + 0.006355)^{0.17783}$
コイル材料	1.23	400	$\sigma^p = 1029.2 (\varepsilon + 0.004108)^{0.17199}$

【1-2】成形シミュレーションプログラム開発

超深絞り成形加工過程で発生するしごき成形現象等に対応するためにプログラム機能の高度化を行ない、不安定または大変形現象でも計算が途中で止まる等致命的事象を起こすことなく板鍛造深絞り成形複数工程が図 1-2 に示すように安定的にシミュレーションできることを確認した。

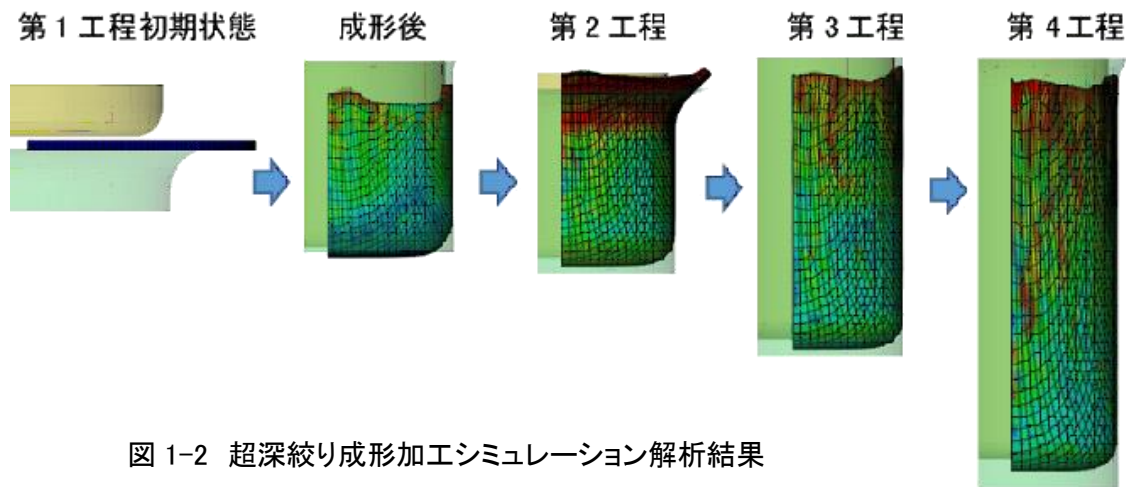


図 1-2 超深絞り成形加工シミュレーション解析結果

【1-3】実験結果対解析結果比較による解析手法の最適化

「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」超深絞り成形加工の成形実験により取得された各成形工程における成形品に対して、側壁及び底面等各部位の板厚計測を行ない、成形シミュレーション解析結果との比較検証を実施した。

全工程の各成形品における側壁部の 3 か所と底面部の板厚に対して実際の成形品と解析結果を比較した結果、しわが発生しやすいフランジ部付近の壁部上部では寸法差が大きい個所を一部で認められるが、ワレが発生しやすい肩 R 部付近等では板厚差がほぼ ± 0.05 mm以内(表 1-2、図 1-3 参照)には納まっており、「しごき成形」を伴う超深絞り成形加工(板鍛造深絞り成形法)において最も頻発する薄肉化による破断現象を解析により評価できることが確認できた。

表 1-2 実成形品寸法に対する解析結果比較

工程	位置	実成形品 板厚(mm)	解析結果 板厚(mm)	寸法差 (mm)	工程	位置	実成形品 板厚(mm)	解析結果 板厚(mm)	寸法差 (mm)
1	①	1.60	1.60	0.00	5	①	1.40	1.59	0.19
	②	1.59	1.60	0.01		②	1.44	1.56	0.12
	③	1.59	1.60	0.01		③	1.39	1.44	0.05
	④	1.60	1.60	0.00		④	1.57	1.60	0.03
2	①	1.60	1.61	0.01	6	①	1.37	1.39	0.02
	②	1.59	1.56	-0.03		②	1.37	1.40	0.03
	③	1.59	1.55	-0.04		③	1.39	1.36	-0.03
	④	1.60	1.60	0.00		④	1.59	1.57	-0.02
3	①	1.61	1.60	-0.01	7	①	1.28	1.36	0.12
	②	1.51	1.56	0.05		②	1.35	1.35	0.00
	③	1.44	1.45	0.01		③	1.30	1.28	-0.02
	④	1.58	1.59	0.01		④	1.58	1.55	-0.03
4	①	1.58	1.63	0.05					
	②	1.46	1.55	0.09					
	③	1.41	1.44	0.03					
	④	1.57	1.59	0.02					

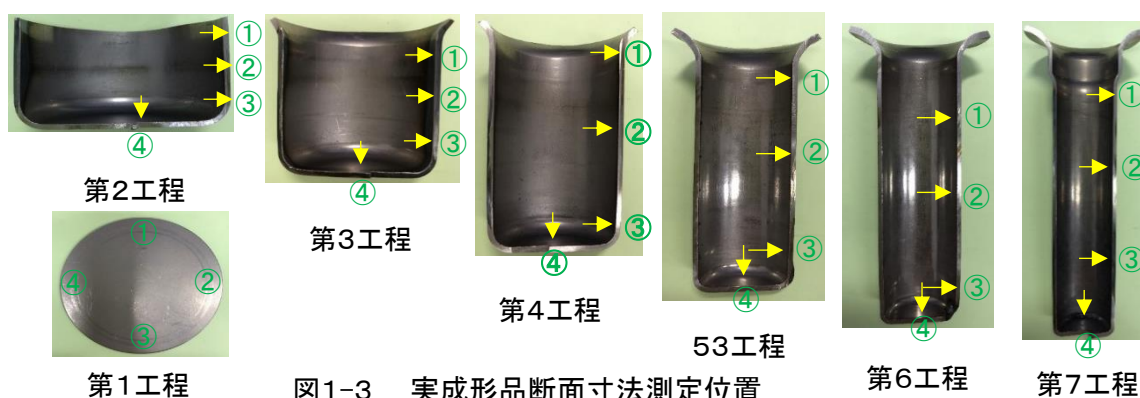


図1-3 実成形品断面寸法測定位置

【2.「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」プレス成形不良対策課題への対応】

通常の絞り成形加工では、伸びフランジ変形が発生するパンチ工具先端部周囲が成形限界となりアスペクト比(高さ/直径比)を有する成形品を創成することが難しい。本開発では、通常の絞り成形加工とは異なり、深さ方向に圧縮を繰り返しながら絞り成形を行なうしごき成形法(超深絞り成形加工)に対して、各工程における成形内容及び金型構造等の最適化を図ることにより、590kN 級高強度鋼板を使用したインフレーターケース部品をプレス加工により創成する工法を確立した。

【2-1】「サイドエアバッグ用インフレーターケース部品」に関するプレス成形方法の検討

590kN 級高強度鋼板を使用したインフレーターケース部品のプレス加工による取得に必要な治工具及びプレス機械仕様等を検討するために、従来からのプレス成形ノウハウをもとに簡易金型を設計・製作して、現有設備のプレス機械(図2-1参照)を使用した検討用成形実験を実施した。

この検討用成形実験は、現有設備のプレス機械(図2-1参照)に装着するように製作された簡易金型を工程毎に装着、脱着を繰り返すことにより、各工程のプレス成形加工完了時に図2-2に示す成形品を取得した。590kN 級高強度鋼板を使用したプレス成形実験では、第6工程にてパンチ底角 R 部付近よりワレが発生し、最終工程までは至らず成形品取得はできなかった。また、980kN 級高強度鋼板を使用したプレス成形実験では、第3工程で側壁部が裂けるようなワレが発生した。



図2-1 現有設備プレス機械



(a) 590kN高強度鋼板



(b) 980kN 高強度鋼板

図2-2 高強度鋼板590・980kNを使用した検討用プレス成形実験結果

【2-2】 基本形状に対する成形限界の把握

前項の検討用成形実験結果及び成形シミュレーション解析結果をもとに、「インフレータケース部品」のプレス成形加工に必要となる治具(金型)を設計・製作した(図2-3参照)。さらに、各金型をセットできるボルスタースペース、成形荷重及びスライドストロークを有するリンクプレス機械を新たに導入し、590MPa 級高張力鋼板のシート材料を使用してプレス成形実験(図2-4参照)を行なった。

プレス成形実験は、円盤形状のシート材及び後工程の加工品を手送りで次工程に移動させながら最終の実成形品を取得する方法にて実施した。そのため、連続生産時のプレス成形過程で発生する熱の問題等もなく、金型調整を行なうことにより成形不良のない成形品(図2-5参照)を取得できた。さらに、最終成形品(図2-5参照)の外形寸法を計測し、基準となる設計寸法との比較検証を行なった結果、設計寸法の許容範囲内に収まっている事が確認した。



図2-3 プレス成形加工用金型構成部品



図2-4 リンクプレス機械に設置された金型全体図

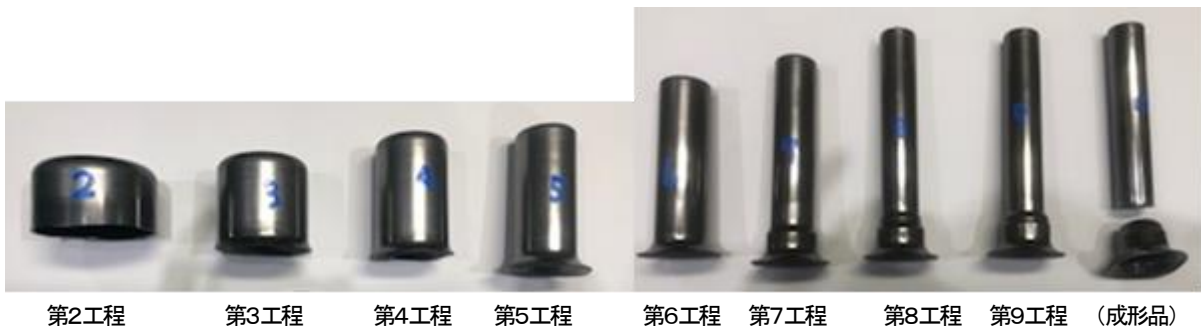


図2-5 シート材料によるプレス成形加工実験結果(各工程成形品)

【2-3】 プレス成形実験による成形条件の検討

前項のシート材から円盤形状に切り出して材料を事前に準備して、第2工程の金型上に手作業で材料をセットする方法から、コイル材を使用して、材料を第1工程の金型上に自動送りする方法に移行するために、コイル材送り装置の導入等環境整備を行なった。

図2-6は、コイル材を使用したプレス成形実験結果を示す。コイル材では、シート材を使用した実験結果と異なり、第7工程で破断が発生し成形品を取得できなかった。

そのため、材料伸びに影響する降伏力、引張強さ及び最大伸び量の異なる6種類のコイル材を使用してプレス成形実験を行ない、成形途中で破断等成形不良の発生しないコイル材料の抽出を行なった。プレス成形実験結果より、相対的に降伏力の低い材料を使用することにより、成形不良発生なく成形品を取得できることがわかった。

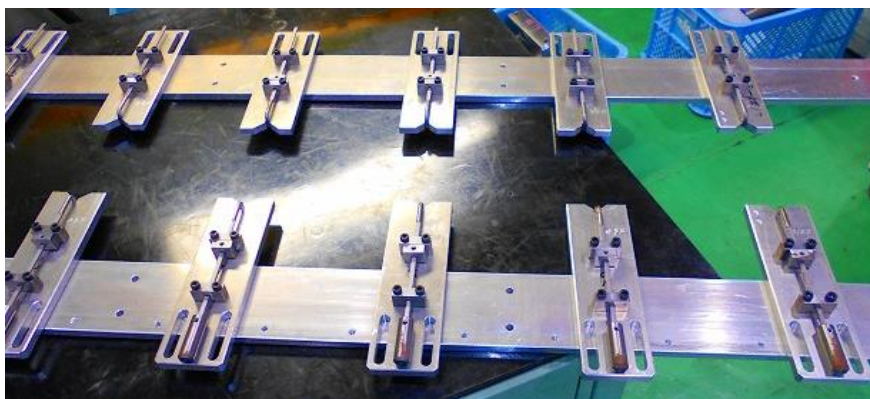


図2-6 コイル材料Aによるプレス成形加工実験結果（第7工程で破断）



第1工程 第2工程 第3工程 第4工程 第5工程 第6工程 第7工程 第8工程 第9工程 （成形品）

図2-7 コイル材料Bによるプレス成形加工実験結果（OK品）



(a) フィードバーに装着されたフィンガー（治具）写真



（第1～3工程用）



（第4工程以降用）

(b) フィンガー詳細写真

図3-1 フィンガー（治具）全体写真

【3. リンクプレス機械を利用した連続生産自動化課題への対応】

超深絞り成形加工による連続生産自動化を実現するには、焼き付き等成形加工速度の上昇により発生する成形不良の回避、及び成形品の工程間を搬送するシステムの構築が必要となる。本開発では、連続生産により成形加工速度が上昇することで発生する加工温度の上昇を抑える対策を講じるとともに、プレス機械のスライドの上下運動に同期する加工品搬送システムの最適化を図ることにより、生産サイクルタイム 20spm を実現させた。

【3-1】 連続生産自動化に向けた搬送方法の検討

プレス機械のスライドの上下運動に同期して作動する搬送装置（フィードバー）を導入し、各工程で成形された加工品を掴んで次工程に搬送するために必要となるフィードバーに装着される治具（フィンガー）を設計・製作した（図3-1参照）。しかし、全工程の加工品輪郭形状に対応することが難しく安定的に搬送できないことから、第4工程以降に対して新たなフィンガーを設計・製作した。

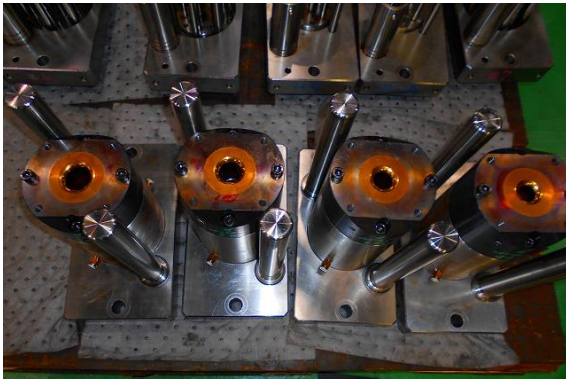


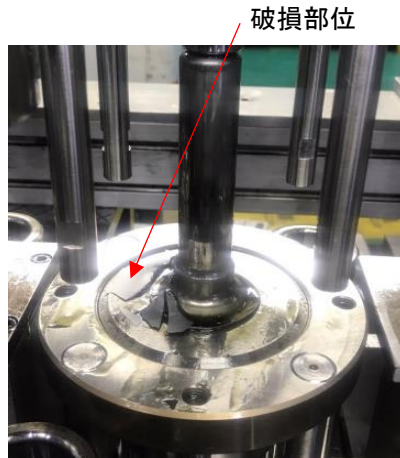
図3-2 TiAlN コーティング処理



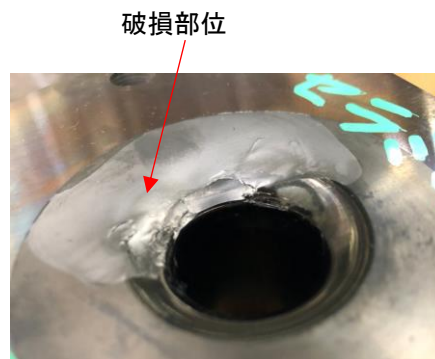
図3-3 ガイド(治具)を追加設置搬送調整



図3-4 連続生産によるプレス成形実験状況写真



(a) 第7工程下型(ダイス工具)写真



(b) 第7工程ダイス表面破損写真



(c) 第8工程ダイス表面破損写真

図3-5 セラミックコーティング破損(第7・8工程ダイス表面)状況写真

【3-2】 プレス成形実験による生産性検証

連続生産により成形過程中に加工品と工具間で発生する熱により金型が膨張して破損することを回避する構造及び水冷却構造を設計段階より金型に織り込むとともに、しごき成形加工となるダイス金型表面に高硬度で耐熱性に優れた TiAlN コーティングを施し(図3-2参照)、プレス成形実験を行なった。

フィンガーにより加工品を掴み各工程間を自動搬送できるとともに、成形不良の発生もなく成形品を取得できることを確認した。

【3-3】生産性に対する成形条件最適化

搬送速度を上昇させると、加工品搬送中に加工品が工程（金型）間の隙間に落下する不具合が頻繁に発生することから、ガイド（治具）を追加製作して調整（図3-3参照）することにより、定常的に全工程の加工品を自動搬送できることを確認した。さらに、最もしごき成形が厳しくなる第7工程及び第8工程のダイス金型に対して、連続生産による焼き付き対策としてセラミックコーティングダイス及びサーメット製ダイスを製作し、プレス成形実験（図3-4参照）を行なった。セラミックコーティングダイスは、曲げ強度及び破壊靱性が低いことから、しごき成形に対して破損（脆い割れ）が発生した。しかし、サーメット製ダイスでは破損等問題の発生もなく、生産サイクルタイム 20spm で連続生産できることを確認した。

さらに、成形品の断面形状を工具顕微鏡等にて観察することにより、メタルフロー（鍛流線）に異常がなく（図3-6参照）、成形品寸法が設計寸法（図3-7参照）の許容範囲内であることを確認した。

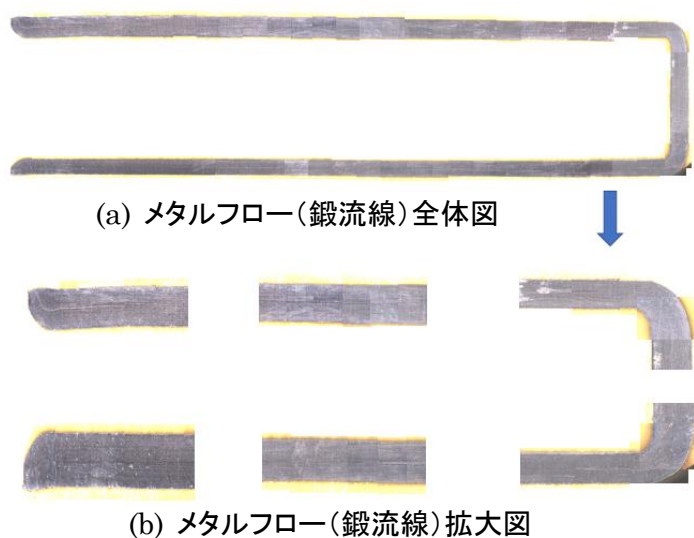


図3-6 最終成形品のメタルフロー計測結果

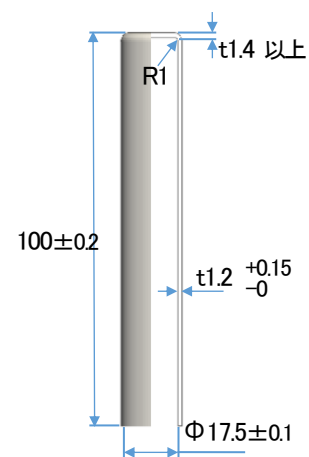


図3-7 成形品設計寸法

【5. 車両構成部品としての機能検証】

本開発による590kN 級高強度鋼板を使用した超深絞り成形加工による成形品は、サイドエアバッグ用インフレーターカースとして機能するための寸法精度を有していることを確認した。

第3章 全体総括

3. 1 総括

車載エアバッグ用インフレーターケース部品は、絞り成形加工に適した円筒形状だが、高さ寸法は従来の成形限界を超える絞り深さとなり、安全面から瞬間的爆発による高圧に耐えられる延性の乏しい高強度材等が素材となることから、管素材を切断、片端に蓋を装着してかしめ加工する等複数工程による量産が前提となっている。しかし、品質だけではなくコストの点でも競争力を維持するには、各段に優れた新たな工法への転換等パラダイムシフトが求められている。

インフレーターケース本体の高強度化とローコスト化を同時に実現させるには、単純な円筒深底形状を有する部品を高強度鋼板から熱を加える等余分なエネルギー消費や追加加工もなく単工程で製造できる技術が要求される。

本開発では、プレス加工にてパンチ工具とダイ工具の側壁隙間を板材の初期板厚より狭めて1軸方向に圧縮を繰り返しながら絞り成形を行なうしごき成形を伴う深絞り成形加工(超深絞り成形加工)により、590kN 級高強度鋼板を使用したインフレーターケース部品をプレス加工にて製造できる技術を構築した。

特に、超深絞り成形加工では、絞り成形により引き延ばされる鋼板がパンチ工具とダイ工具の側壁に接触しつつ摺動しながら流れ込むため、加工熱が発生するとともに焼き付き現象により亀裂やカジリ等の成形不良が発生する。本開発では、金型が加工熱により膨張して破損することを回避する構造及び水冷却構造等新たな技術を導入して成形加工時の発熱を制御することにより、生産サイクルタイム 20spm での連続生産を実現させた。

また、超深絞り成形加工技術の構築過程において、実際の成形実験では直接観察できない成形過程での材料流動等を仮想的に可視化する手法として成形シミュレーション技術を構築するとともに、実際に成形現象メカニズムを検証する等、最適策を導き出すツールとして活用することができた。これにより、新たな加工法でも設計段階で事前検討が可能となり、金型製作時のトライアンドエラーや造り直しは、大幅に削減されることが期待される。

3. 2 今後に向けて

本開発における研究成果は、製品としての部品点数削減及び工程数削減による原価低減だけではなく、新機種開発時の試作レス(トライアル)や量産の工程内手直し率低減および仕損率低減等、直接的に『製造原価低減』に結びつき、大きく利益貢献する事が期待できる。そのため、今後、新車種の量産開始による新旧車種切り替え時に順次、量産工程への導入を図るために、川下企業に対して本研究成果をもとにした高強度化等技術的な提案を積極的に行なっていく。

さらに、自動車部品以外にも深さを必要とする円筒形状製品に対しては、本研究成果の活用による効果が期待できることから、導入提案に向けた具体的検討を行なっていく。