平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高圧センサ用高感度金属ダイアフラム型導圧管の開発」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

委託者 関東経済産業局 委託先 公益財団法人日立地区産業支援センター

| 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 |
| 1.1.1 研究開発の背景 | 1 |
| 1.1.2 研究目的 | 2 |
| 1.1.3 研究目標 | 2 |
| 1.2 研究体制 | 4 |
| 1.2.1 研究組織及び管理体制 | 4 |
| 1.3 成果概要 | 6 |
| 1.3.1 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計製作 | 6 |
| 1.3.2 金属ダイアフラム用板鍛造プレス条件の確立 | 6 |
| 1.3.3 FSPPT による金属ダイアフラムと導圧管の接合技術開発 | 6 |
| 1.3.4 接合信頼性評価 | 7 |
| 1.3.5 燃料圧センサ用金属ダイアフラム導圧管の試作と評価 | 8 |
| 1.3.6 量産技術確立 | 8 |
| 1.4 当該研究開発の連絡窓口 | 9 |
| 第2章本論 | 10 |
| 2.1 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計製作 | 10 |
| 2.1.1 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計 | 11 |
| 2.1.2 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の製作 | 15 |
| 2.2 金属ダイアフラム用板鍛造プレス条件の確立 | 15 |
| 2.2.1 鍛造プレスによる高精度プレス条件の確立 | 15 |
| 2.3 FSPPT による金属ダイアフラムと導圧管の接合技術開発 | 19 |
| 2.3.1 接合ツールの設計製作 | 19 |
| 2.3.2 接合金型の設計製作 | 21 |
| 2.3.3 接合条件の最適化 | 21 |
| 2.4 接合信頼性評価 | 25 |
| 2.4.1 引張り強度試験による接合強度評価 | 25 |
| 2.4.2 耐久性評価 | 26 |
| 2.4.3 耐食性評価 | 28 |
| 2.5 燃料圧センサ用金属ダイアフラム導圧管の試作と評価 | 28 |
| 2.5.1 金属ダイアフラムへの圧力ゲージチップ接合性の評価 | 28 |
| 2.5.2 顧客耐久性評価 | 29 |
| 2.6 量産技術確立 | 29 |
| 2.6.1 金属ダイアフラムの板鍛造加工量産技術 | 29 |
| 2.6.2 金属ダイアフラム板鍛造量産技術 | 29 |
| 2.6.3 FSPPT量産技術 | 30 |
| 最終章 全体総括 | 30 |

第1章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1.1.1 研究開発の背景

自動車用高圧センサは、横滑り防止ブレーキ制御、燃料噴射圧力制御用など、自動車に数多く組み込まれている(図1参照)。また将来、燃料電池自動車が普及する と、高圧センサは水素と空気の圧力制御や生成水の圧力モニタリングに数多く採用 されると予測されている。高圧センサは、燃焼効率の向上や、環境問題からの排気 ガスの清浄化を目的に、年々高耐圧性能と高感度性能が要求されるようになってき ている。この中で、燃料噴射圧制御用の高圧センサでは、ディーゼルエンジンで最 大300MPa、ガソリンエンジンではダイレクトインジェクションタイプの場合最大 70MPa の高い圧力コントロール性能が求められる。また圧力応答性では、エンジ ンの回転数が4,000RPMにおける即応性が要求され、この場合の発生電荷のパ ルス幅は 0.005 秒 (5ms)の分解能が必要である。従来、このような圧力を検出 する歪ゲージには、シリコン半導体歪ゲージ(通称ピエゾ素子)が用いられてきた。 しかしシリコンダイアフラムは、トランスミッションの油圧コントロール用圧力セ ンサ(コントロール圧力レンジ~4MPa)程度までは耐えるが、これ以上の高圧セ ンサでは、耐久性が不足する問題がある。



図1 車載用高圧センサの用途

このため最近、本研究が目的とする、高耐圧性能と、高圧力感知能力を併せ 持つ高圧センサの開発が強く求められるようになった。この構造は、高剛性の 感圧部を有する金属ダイアフラムの上部に圧力ゲージを配置し、下部には、同 じく高剛性の金属導圧管を接続した構造である(図2)。金属ダイアフラムと 導圧管には析出分散強化型高剛性不錆鋼であるSUS631が用いられる。S US631は添加元素であるAlをO.75~1.5mass%程度含み、熱処理に よってAlを析出分散させることで、高い強度と靭性を得ることができる。現 在は2つの金属部品を溶接した後、切削工法で内面加工されている。このよう な従来構造の高圧センサには、切削加工と溶接の作業・段取り時間がかかり、 専用溶接設備が必要なためこの構造品が高価であること、ダイアフラム加工面 の粗さ、検出・回路素子(半導体・薄膜)への、ダイアフラム加工時及び溶接時 の熱、機械的ストレス(変形)影響がセンサの検出精度に影響すること、溶接に よる化合物発生や、溶接面中心付近未溶接による管内壁隙間の発生などによる、 耐圧性、耐腐食性劣化が懸念される。また、切削加工油の洗浄が必要で、かつ 切削粉などの管路内残差の流出、他部品干渉による故障も心配である。



図2 金属ダイアフラムを用いた高耐圧型圧力センサの構造

1.1.2 研究目的

本研究の目的は、前述の背景を踏まえ、安価なプレス加工により金属ダイア フラムおよび導圧管を製造し、さらにダイアフラムと導圧管の接合には、レー ザ溶接と摩擦攪拌接合を併用して、高耐圧で安価な、高圧センサ用高感度金属 ダイアフラム型導圧管を開発することにある。本研究が目的とする高圧センサ用 高感度金属ダイアフラム型導圧管の構造を図3に示す。



図3 本研究開発金属ダイアフラム導圧管の構造 (寸法Φ15~20mm×2~4mm)

1.1.3 研究目標

本計画は、下記を対象としている。

(+二) 金属プレス加工に係る技術に関する事項

- 1金属プレス加工に係る技術において達成すべき高度化目標
 - ①川下分野横断的な共通の事項
 - ア. 高機能化 エ. 低コスト化

以下に研究の高度化目標とその目標値を記述する。

1) 高度化目標

ア.プレス機械及び金型技術の向上(寸法精度の向上、高機能化)

本研究開発は、技術指針のア.プレス機械及び金型技術の向上の中に明示されている、寸法精度の向上、高機能化に、該当する技術開発である。本研究の金属ダイアフラム型導圧管の開発では、金属ダイアフラムをナックルリンクプレ

スやサーボプレスを用い、感圧部の寸法精度向上を狙っている。また金属ダイ アフラムと導圧管の接合には FSPPT(垂直摩擦攪拌接合技術)を応用した接 合金型を設計製作して、接合金型をプレスマシンに搭載して接合する。このこ とによって金属プレス技術の高機能化を達成する。以下に本研究開発の技術的 目標値を示す。

2)研究開発項目と目標値

研究開発項目とその目標値を項目別に以下に示す。

- 【1】金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計製作
- 【1-1】 金属ダイアフラムプレス金型の設計

鍛造プレス搭載可能な金型の設計製作

- 【1-2】金属ダイアフラムプレス金型の製作 感圧部加工精度1 μm以下を達成する。
- 【2】 金属ダイアフラム用板鍛造プレス条件の確立
- 【2-1】 鍛造プレスによる高精度プレス条件の確立
 - 感圧部厚さ公差目標値:±0.01mm
- 【3】FSPPTによる金属ダイアフラムと導圧管の接合技術開発
- 【3-1】 接合ツールの設計製作

高耐久性ツール構造、材質の選定

- 【3-2】 接合金型の設計製作
 - ツール回転および上下駆動機構を有するロボット金型の設計製作
- 【3-3】接合条件の最適化 金型1台の接合能力600UPH(Unit/Hr)以上を達成可能な接合条件の 最適化(ツール回転数、ツール移動速度、部品位置決め供給方法など)
- 【4】 接合信頼性評価
- 【4-1】 引張り強度試験による接合強度評価

常温引張り試験による初期評価

- 【4-2】耐久性評価 顧客と連携して温度サイクル試験、振動試験、耐圧試験などの耐久性評 価を実施する。
- 【4-3】耐食性試験
 - 顧客と連携して耐酸性などの耐食性評価を実施する。
- 【5】燃料圧センサ用金属ダイアフラム導圧管の試作と評価 顧客に部品を提供して実際の燃料圧センサの組み立てと評価を行う。
- 【5-1】金属ダイアフラムへの圧力ゲージチップ接合性の評価 感圧部への圧力ゲージチップマウンティング性評価
- 【5-2】 顧客耐久性評価 組み立て後の耐圧特性初期評価と実機による信頼性評価
- 【6】量産技術確立
- 【6-1】 金属ダイアフラムの板鍛造加工量産技術
- 金型寿命目標;2,000KS(2,000,000個)以上
- 【6-2】金属ダイアフラム板鍛造量産技術 プレス生産能力;60個/分以上(3,600個/時以上)
- 【6-3】FSPPT量産技術接合能力;接合金型1台の接合能力600UPH(Unit/Hr)以上

1.2 研究体制

- 1.2.1 研究組織及び管理体制
- 1)研究組織(全体)



- 2)管理体制
 - a)事業管理機関
- [公益財団法人日立地区産業支援センター]



3)管理員及び研究員

a)管理員

【事業管理機関】 公益財団法人日立地区産業支援センター

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|------|-------------|----|
| 田中正浩 | チーフコーディネーター | |
| 川野辺直 | コーディネーター | |

b)研究員 【再委託先】

株式会社大貫工業所

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|--------|----------------|----|
| 大貫啓人 | 代表取締役社長 | PL |
| 大貫 英仁 | 常務取締役 | |
| 五十嵐 信弥 | 専務取締役 設計開発部 部長 | |
| 林田勉 | 製造部部長 | |
| 和田正勝 | 設計開発部 課長 | |
| 五十嵐雅高 | 設計開発部 部員 | |
| 御田護 | 技術顧問 | SL |
| | | |

国立大学法人茨城大学

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|-------|---------------|----|
| 鈴木 徹也 | 工学部マテリアル工学科教授 | |

茨城県工業技術センター

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|-------------------------|---|----|
| 齋藤 和哉 行武 栄太郎 上田 聖 | 先端材料部門 部門長 先端材料部門 主任研究員 先端材料部門 主任 | |

4)協力者(アドバイザー)

| 氏 | ;名 | 所属・役職 | 備考 |
|----|----|---------------------------|----|
| 半澤 | 恵二 | 日立オートモティブシステムズ(株) | |
| | | 電子設計本部 センリ設計部 部長 | |
| 大力 | 賢次 | 茨城県商工労働部 産業技術課 技佐 | |
| 中川 | 朝彦 | ー般社団法人日本金属プレス工業協会 業務課長 | |
| 加藤 | 正二 | 独立行政法人産業技術総合研究所 主任研究員 | |

1.3 成果概要

H27年度の計画内容と成果概要を各々のテーマ毎に以下に示す。

- 1.3.1 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計製作 ;(株) 大貫工業所
 - 1)金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計

a)計画内容昨年度の金属ダイアフラム用金型の構造最適化結果を基に、ナックル リンクプレスマシン(400トン)による量産対応トランスファープレス用金型 の設計を行う。また量産トライ品の鍛流線を断面ミクロ組織観察により調査し、 高耐久性金型の改良を進める。

b)成果概要

今年度も、量産対応可能な金属ダイアフラムの構造最適化金型の設計を行った。 前年度の塑性流動解析結果と断面ミクロ組織観察結果を踏まえて、SUS630 ブラン ク材の導圧部加工(第1工程)とダイアフラム加工(第2工程)用量産対応金型の設 計を行った。

- 2)金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の製作
 - a)計画内容

CNC治具研削盤及び新たに導入するワイヤー放電加工機を用いて、金属ダイアフラム加工用量産金型部品を製作し、トランスファープレス対応の量産用金型を 組立てる。

b)成果概要

ワイヤー放電加工機および高精度金型部品加工用治具研削装置による金型部品加 エを行い、量産対応の金型を製作して組み立て調整を行った。組み立てた金型を3 OOトンサーボプレスに搭載しダイアフラムを試作した。試作したダイアフラムの 断面ミクロ組織を観察し、鍛造加工部にクラック発生のない金型を製作した。

- 1.3.2 金属ダイアフラム用板鍛造プレス条件の確立;(株)大貫工業所
- 1) 鍛造プレスによる高精度プレス条件の確立

a)計画内容

ナックルリンクプレスマシン(400トン)を用いて、量産用金型による金属 ダイアフラムの製作を行う。金型とトランスファー装置とを組合せてプレスマシ ンに搭載することにより、自動連続量産プレス加工法を確立し、60spmを目 指す。

b)成果概要

ナックルリンクプレスマシン(400トン)に登載が可能な第1工程、第2工程金型 を300トンサーボプレスに登載して、プレス条件の確立を行った。その結果、クラ ンクモーションで第1工程(導圧部)と第2工程(ダイアフラム部)ともに、中間焼鈍 なく連続して加工できる条件を見出した。

- 1.3.3 FSPPTによる金属ダイアフラムと導圧管の接合技術開発; (株)大貫工業所、 茨城県工業技術センター、茨城大学
 - 1) 接合ツールの設計製作
 - a)計画内容

摩擦撹拌接合用接合ツールの量産対応設計を行う。量産用接合ツールとしての 連続生産性に優れた形状・素材・表面コーティングなどを検討し、量産に適した 接合ツール仕様を確立する。 b)成果概要

昨年度は摩擦ディスクを用いた接合が可能なことを見出したので、今年度は、摩擦 ディスクを用いた接合サンプルの研磨エッチングによる接合断面のミクロ組織観察を 行い、摩擦撹拌接合における、回転数、ツール挿入速度、ツール形状、材質などの ツール設計のための基礎データを取得した。

2) 接合金型の設計製作

a)計画内容

金属ダイアフラムと導圧管の外周溶接の量産に適したレーザ溶接機の接合条件を 見出すとともに、外周レーザ溶接用固定治具を設計製作し、接合の量産技術を確立 する。

b)成果概要

昨年度は導入したレーザ溶接機による、ダイアフラムと導圧管の接合実験を行い、 SUS630同士の外周接合が可能であることを確認したので、今年度は摩擦ディスク を用いて接合した、ダイアフラムと導圧管の外周をレーザ溶接するための接合治具の 設計製作を行った。

3) 接合条件の最適化

a)計画内容

金属ダイアフラムと導圧管の接合品(以下:金属ダイアフラム導圧管)の断面ミクロ 組織観察を行い、最適化された接合条件の最終検証を行う。また接合部の寸法精度を 測定して、量産性を検証し、量産体制を整える。

b)成果概要

今年度は、摩擦撹拌複合機(日東制機株式会社製、摩擦圧接、摩擦撹拌複合機)を 用いて、摩擦ディスクを用いたダイアフラムと導圧管の接合のためのツール回転数、 ツール挿入速度の条件の適化を行った。

1.3.4 接合信頼性評価; (株)大貫工業所、茨城大学、茨城県工業技術センター

1) 引張り強度試験による接合強度評価

a)計画内容

金属ダイアフラム導圧管に引張試験専用固定治具を取り付けて引張試験を行う。また 工業技術センターのX線CTにより、接合部全周囲の接合状態を調査する。

b)成果概要

今年度は、塩水噴霧試験、冷熱衝撃試験などの耐久試験後の各種接合サンプルの引張り強度試験を行った。さらに摩擦撹拌接合のみと、摩擦撹拌接合とレーザ溶接を併用した場合の引張り試験も行い、接合部の信頼性を評価した。

- 2)耐久性評価
- a)計画内容

疲労試験機を用いて、量産条件で接合したダイアフラムと導圧管接合部の耐久性評価を行う。耐久性評価は茨城県工業技術センターの疲労試験装置を用いて行う。

b)成果概要

今年度は、茨城県工業技術センターの疲労試験機を用いてダイアフラムと導圧管接 合部の耐久性評価を行った。その結果初期および塩水噴霧、冷熱衝撃試験後において 10⁷回の疲労試験後も接合部の破断が生じなかった。

- 3) 耐食性評価
 - a)計画内容

1.3.3 で接合した金属ダイアフラム導圧管の耐食性試験を茨城県工業技術センター

の腐食評価装置を用いて行う。

b)成果概要

今年度は茨城県工業技術センターの塩水噴霧試験機を用いて耐食性評価を行た。その結果5重量%人工海水による740hの試験において、塩水噴霧試験特有の孔食や 塩素イオン起因の緑色腐食生成物の発生が認められなかった。

1.3.5 燃料圧センサ用金属ダイアフラム導圧管の試作と評価;(株)大貫工業所、

茨城大学、茨城県工業技術センター

1)金属ダイアフラムへの圧力ゲージチップ接合評価

a)計画内容

金属ダイアフラムへの圧力ゲージチップ接合性評価を信頼性試験と並行して進める。圧力ゲージチップの接合搭載及び接合性評価は最終顧客に依頼し、接合性評価結果を金属ダイアフラム型導圧管の改良に反映させる。

b)成果概要

日立オートモティブシステムズ株式会社佐和事業所と打ち合わせを行い、チップ接 合性評価を計画したが、量産ダイアフラムの提供が計画と合致せず、計画期間内に完 了させることができなかった。このためチップ接合性評価は補完研究で行うこととし た。

- 2) 顧客耐久性評価
 - a)計画内容

金属ダイアフラムへの圧力ゲージチップ耐久性評価を接合性評価後に行う。耐 久性評価は、最終顧客に依頼し、耐久性評価結果を金属ダイアフラム型導圧管の改良 に反映させる。

b)成果概要

日立オートモティブシステムズ株式会社佐和事業所と打合わせを行い、接合性評価 後に耐久性評価を実施して頂けることとなったが、製品化スケジュールに間に合わず、 顧客耐久性評価に至らなかった。しかし耐久性評価に必要な各種試験項目と条件を開 示していただいた。

- 1.3.6 量産技術確立 ;(株)大貫工業所
 - 1)金属ダイアフラムの板鍛造加工量産技術
 - a)計画内容

1.3.1で設計、製作した量産金型を搭載したナックルリンクプレスマシン(400トン)を用いて、1.3.2で確立した量産プレス条件による、金型の構造欠陥の 有無を最終調査する。

b)成果概要

感圧部加工時にクラック発生の無い、第2工程改良型単発金型をナックルリンク プレスマシン(400トン)搭載用に新たに設計製作した。

- 2) 金属ダイアフラムの板鍛造量産技術
 - a)計画内容

1.3.1 で設計、製作した量産金型とトランスファー装置を搭載したナックルリンク プレスマシン(400トン)により、量産性の最終検証を行う。最終検証は、製品の 寸法安定性、外観検査、金型磨耗の測定調査により行い、目標とする生産能力を検証 する。

b)成果概要

今年度は、1.3.1で設計、製作した量産金型をナックルリンクプレスマシン

(400トン)に搭載し、トランスファー装置による量産性評価を目指したが、自動 運転による最終的な量産性評価に至らなかった。このため、量産性を補完研究で継続して行うこととした。

- 3) FSPPT 量産技術
 - a)計画内容

1.3.3の接合条件の最適化条件によるFSPPT量産技術の確立を行う。量産の 検証を接合部の強度安定性、外観品質を中心に進める。

b)成果概要

今年度は摩擦ディスクを用いた最適化条件によるFSPPT量産技術の確立を行うことを目標とし、耐久性評価評価の結果、目標をクリアできたが、外観および品質の面で接合部にバリが発生し問題となった。バリは最終工程で機械的に除去できる程度のものであるが、継続する補完研究において、バリ発生のない接合条件の最適化を行う。

1.4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関

〒316-0032 茨城県日立市西成沢町2丁目20番1号 公益財団法人日立地区産業支援センター 担当 コーディネーター 川野辺 連絡先 TEL. 0294-25-6121 FAX. 0294-25-6125

中核研究機関

〒316-0025 茨城県日立市森山町5丁目10番8号 株式会社大貫工業所 担当 代表取締役社長 大貫 啓人 連絡先 TEL.0294-53-3821 FAX.0294-53-6839

第2章 本論

2.1 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計製作

2.1.1 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の設計

1)金属ダイアフラムの加工プロセス

図1にH26年度に検討したSUS630金属ダイアフラムの加工プロセスを示す。t 4mm×φ9mmのSUS630ブランク材(固溶化熱処理S材)を第1工程で導圧部を 鍛造加工して凹型の形状を作る。次に第2工程では、押し出し成形加工により感圧部を形 成する。そして最終的に押し出し成形された凸部を金型内部で切断して仕上げ加工を行う。



図1 金属ダイアフラムの加工プロセス

SUS630は表1に示す組成と物性を持つ銅を含む析出硬化型のステンレスであるために、強加工によりマルテンサイト変態組織を生じ、高硬度化して加工しにくくなる材料である。このため、強加工を避ける押し出し成形加工による加工方法が有利であると予想されたことから、H26年度は三次元弾塑性解析モデルによる解析を行た結果、金型のダイとクリアランスの最適化が重要であることを見出だした。解析により最適なクリアランス設定において、コーナーR0.65mmの時、最大6mmまでの変位を与えてもクラックの発生しない結果が得られた。

| 我了 SUSUSU 的树科油成、物庄 | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|------|---------|-----|------|------|----------|------|
| 組 成 | С | Si | Mn | Р | S | Cu | Ni | Cr | Nb+ | Fe |
| (mass%) | | | | | | | | | Ta | |
| | <0.07 | <1.00 | <1.00 | MaX | Max0.03 | 3-5 | 3-5 | 15.— | 0.1- | Ball |
| | | | | 0.04 | | | | 17.5 | 0.45 | |
| 物性 | 密度 | 度 | ポアン | ノン比 | 縦弾性係 | 逐数 | 引張強 | 闺度 | 伸び | (%) |
| (固溶化熱処 | (g/c | m³) | | | (GPa |) | (N/r | nm²) | | |
| 理) | | 7.78 | (| 0.2 | 19 | 7 | 1 - | 137 | ۲ | 7 |
| | 而 | わ | 硬度 | ŧ | | | _ | _ | - | - |
| | (N/r | nm²) | (HR | C) | | | | | | |
| | 65 | 57 | 38 | 3> | - | | - | - | - | - |

| 表1 | SUS630の材料組成。 | 物性 |
|-----|--------------|-------|
| IXI | | 1/1/1 |

この結果から、第1工程では、クラックの発生しない金型構造を最適化できたが、第2 工程において、ビッカース硬さの急激な上昇が見られ、第2工程でのクラックの発生が課 題となることが明らかとなった。このため、今年度は第2工程の金型構造の最適化に注力 して実験を行った。

2) 第2工程金型の構造最適化

a) 金型基本構造

図2は導圧部加工の第1工程、第2工程の金型の基本構造図である。パンチは超硬とし、 ダイおよびその他の部品はダイス鋼とした。この構造図により金型部品図を作成した。



b)クラック発生メカニズム解明

金型構造最適化前には、第2工程における押し出し成形部のクラック発生が大きな問題 となった。このため、断面のミクロ組織観察と硬さ測定による、クラック発生のメカニズ ム解明を試みた

図3に金型構造最適化前のダイアフラム加工第2工程の断面ミクロ組織とビッカース硬 さ(Hv)分布を示す。



図3 金型構造最適化前の第2工程ダイアフラム断面(レーザー顕微鏡像)

図3の断面ミクロ組織は、#4,000エメリー研磨紙で研磨後、塩化第二鉄水溶液の濃度、温度調整によりエッチングしてレーザ顕微鏡で観察したものである。また硬さはビッカース硬さ(Hv)測定機による硬さ試験の結果である。

図3に示すビッカース硬さ分布から、金型構造最適化前では、感圧部の押し出しパンチ による応力集中が確認でき、その応力集中部では、パンチの押し出し方向に向かうクラッ クの進展が見られる。クラック発生部における最大硬さは、約H v 480に達する。この 硬さ分布は図4に示すように、クラックの左右で異なっており、クラック左右における応 力の違いがクラック発生に至ったことが予想される。図4は図3のクラック上方から下方 への硬さ分布をグラフ化したものである。クラックの左右で最大H v 100の硬さの差が 見られる。図3からはクラック発生の起点は明確でないが、硬さの差の大きな下方から上 方に向かってクラックが進展したことが伺える。またクラックの中央付近で硬さが逆転し ており、この中央部を境に圧縮と伸び応力が反転したことが解る。



図4 クラック周辺の硬さ分布

図5には、クラック部を破壊して、クラック表面を観察した画像を示す。



a) クラック側面



b) クラック表面 図5 クラック部画像(レーザー顕微鏡像)

図5に見るようにクラックは組織の細かい下方(暗部)から上方に進展したと考えられる。 またクラックは、下方から放射状に広がり、上方に向かって脆性破断の様相が伺える。以 上の調査結果から、第2工程におけるSUS630(S)のクラックは、パンチの集中応 力により急激な硬さ上昇が起こり、そして局所的で過大に生じた残留応力が原因で発生し たと考えられる。その様相はまた図3の断面ミクロ組織における、鍛流線(鍛造加工によ り組織流動した組織)からも伺うことができる。クラック発生部の左右では、金属の組織 が逆方向に流動しており、この組織流動方向の違いによって、左右で圧縮と伸びの方向の 異なる応力が発生しその境界の結晶粒界の原子結合力は、一時は応力と拮抗していたが、 時間の経過により、その応力に耐えきれず、急速に時効クラックが伝搬したと考えられる。

以上のクラック発生の原因解析の結果から、金型構造の最適化検討を行った。 最適化実験は、主にパンチコーナーRおよびパンチとダイのクリアランスをパラメータと して行った。

c) 金型構造の 最適化

第2工程におけるパンチとダイの構造最適化は、H26年度の三次元弾塑性解析モデル による解析結果クリアランスが重要であることが解っており、これを実証するために、パ ンチのコーナーRを一定(0.17Rmm)にして、種々のクリアランスの金型を製作して、 モデル解析の結果を確認することとした。図6にクリアランスを変えた金型で最も良好な 結果が得られた、第2工程終了後の断面ミクロ組織とビッカース硬さ分布を示す。左右対 称に均一な鍛流線が得られ、画像からはクラック発生も見られない。



図6 金型構造最適化(クリアランス調整後)の断面ミクロ組織 (第2工程、レーザ顕微鏡像)

図6の断面をさらに詳細に調査するために図7に示す断面のミクロ組織観察を行った。



図7 観察断面 図7に示す各断面のミクロ組織観察結果を以下に示す。図8は第2工程終了後のダイ アフラムの感圧部縦および横方向の断面ミクロ組織観察結果を示す。



図8 クリアランス最適化後の断面ミクロ組織(レーザ顕微鏡像)

図8に示すようにダイアフラム感圧部の縦、横いずれの方向にもクラックが見られない (黒い点は硬さ測定における圧痕)。図9はエッチング前の断面と硬さ測定結果である。断 面にクラックの発生は見られず、また断面の硬さは最大Hv474であるが、左右の差は Hv60程度となっており、最適化前の硬さの差Hv100と比較して差が小さくなって いる。





図9 クリアランス最適化後の断面と硬さ試験結果

図10には図7における第2工程底面部の断面ミクロ組織と硬さ試験の結果を示す。底 部の面方向の最大硬さはH v 407程度である。溝周辺はH v 317~349程度であり、 SUS630S材の硬さに近いことから、押し出し加工部にパンチ応力が集中した様相が 伺える。



図10 クリアランス最適化後の第2工程底面部の断面ミクロ組織と硬さ試験結果 図11には、第2工程中央部の断面ミクロ組織と、硬さ試験の結果を示す。



図11 クリアランス最適化後の第2工程中央部の断面ミクロ組織と硬さ試験結果

中央部の最大硬さはHv378であり、底部よりも硬さが小さいことが解る。 これは底部ではダイの接触部に応力が集中して硬さが上昇したものと考えられる。断面ミ クロ組織からは、SUS630の金属原子が、外部から溝加工中心部に向かって放射状に 流動している様相が観察される。

以上、断面ミクロ組織観察と硬さ試験の結果による、SUS630のクラック発生の発生しない第2工程金型構造の最適化を達成できた。

2.1.2 金属ダイアフラム用板鍛造プレス金型の製作

和井田製治具研削盤(UJG35)(図12)を用いてパンチ、ダイの高精度加工を行った。 パンチの寸法は位置合わせ精度1μm>に仕上げた。部品加工し組み立てが完了した金型 (第1工程、第2工程)を図13に示す。金型の寸法は300mmW×250mmL×3 00Hである。



図12 和井田製治具研削盤(UJG35)



第1工程金型 図13



型 第2工程金型 図13 金型の外観

(加工精度;1µm> 被加工材寸法;300~600mm)

金型は工程ごとに独立しており、パーツ交換を容易な構造としている。量産においても この独立金型を連結して、プレスに搭載することで量産にも用いることができる。

2.2 金属ダイアフラム用板鍛造プレス条件の確立 2.2.1 鍛造プレスによる高精度プレス条件の確立

1)サーボプレスによる高精度プレス条件の確立

前年度に引き続いて今年度も、プレス速度、プレスモーションを最適化するために、 サーボプレス(図14)を用いたプレス条件の確立を行った。



図14 サーボプレスの外観(プレス/アマダ製/SDE3030)

プレス実験では、プレス速度、モーションをパラメータとした実験を行った。その結果 をプレス条件にフィードバックしながら、プレス加工の最適条件を追及した。以下に主に 第2工程でのプレス条件の確立について記述する。昨年度は第1工程後に700℃で1h の大気中での熱処理を行ったが、熱処理は連続した順送鍛造プレス工程の障害となるため に、今年度は熱処理なしの第2工程プレス条件の最適化を行った。

2) 第2工程のプレス条件の確立

高圧ダイアフラムの試作に用いた SUS630(S) 被加工材料(析出硬化熱処理前固溶 化熱処理品)と物性値を図15に示す。被加工材料の形状は、トランスファー送りを想定 した円形状とした。



| 項目 | 値 |
|--------------------------|----|
| 硬さ (HRC) | 35 |
| 引張強度(N/mm ²) | — |
| 伸び (%) | — |

図15 SUS630(S) 被加工材料(Ф9×5mm)と物性値

図16に第1工程加工後に、熱処理なしで第2工程最適化金型を用いて加工した第2 工程加工断面を示す。



図16より鍛流線の見えるパンチとダイのクリアランス部のミクロ組織は非常に組織

が微細であることが解る。陰影法による組織観察は、エッチングすることなく表面を精 密研磨することで得られる。超微粒子研磨剤による精密研磨によって、ミクロ組織の部 分的な硬さの相違を、微細な凹凸として観察することができる。またその表面の粗さを 測定することによって、組織の細かさを検出することが可能である。図17に表面粗さ 測定結果を示す。



図18に第2工程加工後の断面寸法測定結果を示す。



図18 第2工程加工後の断面寸法

ダイアフラムの高さは、6.035mmであり、材料の厚さに対して1.035mm高く なっている。これは鍛造加工による高さ方向への金属の流動が原因である。SUS63 0の金属原子の低残留応力流動によって、クラックの発生しない金属ダイアフラムの順 送鍛造プレスによる製造が可能になった。

3)仕上げ加工(第3工程)

最終仕上げ加工として、感圧部の押し出し部の切断仕上げが必要であるが、昨年度は、 その加工条件を確立するに至らなかった。今年度は順送鍛造プレスで連続して感圧部の 仕上げ加工を行う技術を確立した。これはプレス荷重を横方向の力に変換する機構を金 型内に設けて、第2工程で生じた凸部を切刃の付いたパンチで切断する技術である。こ の第3工程を図19に示す。



仕上げ加工前(第2工程)第3工程裏面図19仕上げ加工(第3工程)

第3工程加工後のダイアフラム断面を図20に示す。



図20 第3工程加工ダイアフラムの断面

金属ダイアフラムを用いた圧力センサには、ピエゾ素子などの圧力ゲージ素子が搭載 されるが、本研究開発で目標とした高圧センサでは、素子搭載のために口4.5mmの平 坦部が必要とされる。しかしながら、本研究開発では図20に示すように、仕上げ加工 (第3工程)後の最大平坦部面は口3.755mmであった。このため、順送鍛造プレス 加工後に、機械加工による表面研磨加工を行うこととした。表面研磨後のダイアフラム の感圧部の厚さを図21に示す。量産時には自動研磨装置を用いて感圧部の全面を表面 仕上げ研磨することを計画している。



図21 表面研磨後の感圧部の厚さ

研磨加工後感圧部の厚さ公差0.5mm±0.01mmを概略達成することができた。

2.3 FSPPT による金属ダイアフラムと導圧管の接合技術開発

2.3.1 接合ツールの設計製作

今年度は、摩擦接合装置複合機(日東制機株式会社製、摩擦圧接、摩擦撹拌複合機)を用い て、金属ダイアフラムと導圧管接合ツール設計用基礎データの採取を行った。摩擦接合加 工複合機を用いた実験内容を図22に示す。本装置は、最大回転数10,000 r pm、最大付 加荷重4kNで、ツール挿入速度制御、荷重制御、Z軸方向動作10ステップの制御機能、 XYステージ位置調整機能、を有する。本装置は、定回転接合、定荷重接合、定ツール挿入 速度接合実験が可能で、本研究開発目的における、摩擦撹拌接合条件の最適化実験に適し ている。本年度は2.3.3の接合条件の最適化で述べる接合ツール構造の最適化を行った。





(b) ステージ・治具



-ル (d) 摩擦攪拌ツール挿入状態 図22 摩擦接合加工複合機

図22に示す接合ツール(c)は、ダングステン合金(株式会社アライドマテリアル製)を用いて製作した。接合ツール最適化前の破損状態を図23に、最適化後の接合ツールを図24に示す。





(a) 先端根元とショルダーの変形・欠け
 (b) 先端折れ
 (23) 最適化前ツールの破損状態(φ4.5×φ7.1 mm)



図24 最適化接合ツールの構造(*φ*4.5×*φ*7.1mm)

接合ツール形状最適化前は、ツール先端の根元とショルダーの角に接合時の負荷が掛かっているので、その負荷により図23のようにツールの先端が変形、またショルダーに欠けが発生する。特にツール先端は、摩擦撹拌の塑性流動物により大きな負荷が集中して掛かかり、折損することが分かり図24のような形状にすることで、ツールへの負荷を軽減させることができた。

図25に最適化したツールの各機能を示す。



図25 接合ツールの機能

接合ツールは、先端の接合挿入部と上部のショルダー部とからなる構造としている。接 合ツールには、負荷の掛かる箇所にはR面を形成している。摩擦撹拌の塑性流動物による 負荷の大きいツール先端はバリ収集ポケット形状とし、またコーナーには傾斜(R)を形成し、 ツールの負荷を低減することで構造の最適化を行った。さらに、接合後に発生したバリを、 PW形状によりツール上昇時内壁面に押付けることにより接合後の形状安定化を図った。

図24の接合ツールを用いて、2.3.3の接合方法により、摩擦撹拌接合を行った接合 ツールの外観を図26に示す。



(a) 超硬ツール10回接合 (b) W合金ツール20回接合 図26 摩擦撹拌接合後のツール外観

接合ツール材質の最適化前は、超硬ツールでは高温時の硬さおよび靭性が低いため、 ツールに掛かる負荷が大きい箇所に欠けが発生した。超硬ツールでは、接合1回目で欠け が発生し、接合実験を繰り返していくことで図26(a)のように変形、欠けが拡大した。 超硬合金であは、耐衝撃性、耐熱性などの材質に変更して数多く実験したが、欠けを無く すことができなかった。そこで高温硬さと高温靭性に優れているダングステン合金ツール を使用した結果、図26(b)に示すように若干の磨耗が見られたが欠け発生がなく、接合 ツールの耐久性を向上させることが可能となった。以上の結果からツールの形状と材質の 両方を最適化することにより、欠けと折損の発生しない接合ツール構造の最適化を達成し た。

2.3.2 接合金型の設計製作

本年度も昨年同様、図27に示す接合金型を用いて、接合金型構造最適化を行った。実際の量産用接合装置では、この構造を基本とした金型が必要である。金型にはダイアフラムおよび導圧管の固定部と、温度測定用の熱電対挿入部を有する。



図27 接合実験に用いた接合金型(75×75mm)

2.3.3 接合条件の最適化

2.3.1の接合ツールの設計製作で述べた接合実験装置を用いて接合条件の最適化を行った。今年度は、昨年度の垂直摩擦撹拌におけるバリ対策と、接合の信頼性向上をを目的として、接合用別部材としての摩擦ディスクを用いる方法の開発を行った。ダイアフラムと導圧部(ポート)を接合する摩擦ディスク接合方法を図28に示す。



図28 摩擦ディスクを用いた摩擦攪拌接合方法

接合工程

- ① ダイアフラムとツールを固定
- ② ダイアフラム上面に摩擦ディスクを設置
- ③ ツールを挿入
- ④ 導圧管とディスクをツールにより摩擦撹拌(接触部で予熱摩擦、最下部で回転保持)
 ※ツールはダイアフラムと導圧管を直接摩擦撹拌しない。
- ⑤ ツールを引上げ後、回転停止

構造最適化摩擦ディスクによる接合最適化条件を表2に示す。

| 項目 | 条件 | 備考 |
|----------|-----------------------|----------|
| 摩擦ディスク寸法 | 摩擦ディスク(t0.8mm×φ7.2mm× | 接触初期のツー |
| | φ5.8mm)、片側面取り加工 | ル負荷軽減 |
| ツール寸法 | PW形状、先端径φ4.5mm、ショルダー | 摩擦ディスクと |
| | 径�7.1mm | 勘合 |
| 摩擦ディスク材質 | SUS630 (S) | ポート、ダイア |
| | | フラムと同材質 |
| ツール材質 | タングステン合金 | (株)アライドマ |
| | | テリアル製 |
| ツール回転数 | 7,500rpm | |
| ツール挿入速度 | 0.1mm/s | |
| 接合時間 | 11.5s | |

表2 摩擦撹拌接合最適化条件(摩擦ディスク法)

この方法は、円盤ディスクの内径側片方を面取りした形状の摩擦ディスクをダイアフラム上面に設置してから、導圧管とダイアフラムの位置合わせ固定部に挿入し、ツールを高速回転しながら降下させて接合するものである。摩擦ディスクは接合界面に装着接合されて接合が完了する。ダイアフラムと導圧管は接合ツールと直接接触ぜず、ツールと摩擦

ディスクの間での摺動により、間接的に摩擦撹拌接合される。接合ツールが直接接合界面 に接触しないため、ツールの損傷を防ぐことが可能で、また接合部は摩擦ディスクで封着 されるため、接合信頼性の向上が可能となる。接合部材はディスク、ポート、摩擦ディス クともに、SUS630を用いた。

接合条件最適化前では、接合工程④における余熱摩擦と最下部での回転保持を採用して いなかったが、接合深さが短く接合が不十分であった。しかし、余熱摩擦と最下部での回 転保持を採用した結果、摩擦ディスクが変形しながら、ポートとダイアフラムの界面に取 り残される形で接合深さが十分確保でき、欠陥のない接合が可能となることを見出した。 接合断面のミクロ組織観察結果を図29に示す。



図29 摩擦ディスク接合法の接合界面の例(光学顕微鏡像)

図29に示すように、摩擦ディスクは導圧管とダイアフラムの双方に接合されている。 接合ツールにより直接摩擦撹拌していない箇所が間接的に接合されているが、接合部の組 織欠陥は見られない。また、接合条件最適化前の垂直摩擦撹拌と比較して、接合深さも大 きく改善することができた。今後の課題としては、接合上下部に発生するバリ対策が必要 であるが、バリは機械的に別工程で除去することも可能である。

また接合ツールには図30に示すように、SUSの加熱溶融凝着物が生じ問題となった。





凝着物によるバリ

(a) 接合ツールへの凝着(b) 凝着物による上部バリ図30 摩擦撹拌接合後のSUS凝着による影響

この問題は、接合ツールへの凝着物が剥離した時に、図30に見られる大きなバリが発生することがわかり新たな課題となった。この問題は、ツールのコーティングなどにより 改善が可能と考えらる。 昨年度に引続き、ダイアフラムと導圧部の外周接合のレーザ溶接機による方法検討した。 昨年度に導入したレーザ溶接機を図31に示す。また、図32にダイアフラムと導圧管の レーザ溶接部とその断面ミクロ組織を示す。



レーザ加工機 機種;SL347A LASERSERVER(発振器) 機種;M8O3E オムロンレーザーフロント株式会社製

図31 レーザ溶接機



(a) レーザ溶接部 (b) レーザ溶接によるボイド生成 図32 レーザ溶接機による接合断面ミクロ組織

レーザ溶接部の接合深さは1mm以上に出来るが、図32(b)のようにレーザ溶接部に ボイドが生成する。レーザ溶接部の厚さは1mmであり、その1mm全面を接合しようとす ると内壁面がスパッタ現象により飛散する。検討の結果、内側にスパッタが発生せず、ま たボイドの生成し難いレーザ溶接部の接合深さ700μmを達成できた。条件の設定で昨年 度の接合深さを150μmから大幅に改善することが出来た。接合深さ700μmでは、接合 部にボイドが発生する場合があるが、ボイドは表面に露出することはなく、2.4.1の引張 り強度試験による接合強度評価結果から、要求される耐荷重性能を達成しているため問題 ないと考えられる。

2.4 接合信頼性評価

2.4.1 引張り強度試験による接合強度評価

外周のレーザ溶接と内壁面の摩擦攪拌接合を行ったサンプルを引張試験による接合強度 の評価を行った。図33に引張試験を行った試験機(株式会社インストロン製、55R1125 型)を、図34に耐久・耐食性試験と未耐久試験の引張試験の結果(荷重-変位線図)を示す。 また、図35にレーザ溶接のみとレーザ溶接と摩擦撹拌接合(FSP接合)の引張試験結果(荷 重-変位線図)を示す。



(a) 引張試験機(b) ステージ・治具図33引張試験機



図34 耐久・耐食性試験後の引張試験結果(荷重-変位線図)



図35 レーザ溶接+FSP接合の引張試験結果(荷重-変位線図)

図34の引張試験から得られる最も低い引張強さは、1.28kN/mm²、そして最大弾性変 形域は約6kNという結果になった。6kNの値は、実際の製品圧力100MPaが内径 4.5mmに掛かる荷重1.6kNの3倍以上の耐荷重性能を有し、接合強度として十分な値で ある。

レーザ溶接と内側摩擦撹拌接合を示す図35では、レーザ溶接のみに対し30%程度弾 性変形域が上昇するという結果が得られ、またサンプルによっては引張強度も上昇すると いう結果になった。また、耐久試験前より耐久・耐食試験後のサンプルの方が、伸び、最 大荷重ともに高い結果となった。最高温度140℃の冷熱衝撃試験では析出硬化温度に達 していないが、耐久試験前と耐久・耐食試験後のサンプルでは断面ミクロ組織が変化して いるので、何らかの金属学的な変化の可能性がある。

2.4.2 耐久性評価

今年度は、疲労試験機を用いてダイアフラムと導圧管接合部の耐久性評価を行った。耐久性評価には茨城県工業技術センターの疲労試験装置を用いて行った。疲労試験装置と試験条件を図36に示す。



図36 疲労試験装置

疲労試験結果を図37および図38に示す。試験は接合初期の試験片と、後述する塩水 噴霧試験(740h)後および冷熱衝撃試験(720サイクル)後の試験片について行い 比較評価した。



リ期試験方(何里) 図37疲労試験結果(塩水噴霧試験片との同時試験結果)

図37に示すように、10⁷回の疲労試験後において、変位および荷重測定値に変化が見られない。また塩水噴霧試験後も同様に荷重、変位ともに変化がないことから、疲労試験への塩水噴霧試験の影響は見られない。



図38 疲労試験結果(冷熱衝撃試験片との同時試験結果)

図38に示すように、10⁷回の疲労試験後において、冷熱衝撃試験後も塩水噴霧試験 同様荷重変位ともに変化がないことから、疲労試験への冷熱衝撃試験の影響は見られない。 2.4.3 耐食性評価

本年度は、ダイアフラムと導圧管接合部の塩水噴霧試験による耐食性評価を行なった。 試験は茨城県工業技術センターの塩水噴霧試験装置複合サイクル試験機:スガ試験器株 式会社 CYP-90 を用いた。



複合サイクル試験機 図39 塩水噴霧試験結果

5重量%人工海水による740hの試験において、塩水噴霧試験特有の孔食や塩素イオン起因の緑色腐食生成物の発生が認められなかった。

2.5 燃料圧センサ用金属ダイアフラム導圧管の試作と評価

2.5.1 金属ダイアフラムへの圧力ゲージチップ接合性の評価

金属ダイアフラムには図40に示すように、ロ4.5mmの感圧部に圧力ゲージチップ が接合搭載される。チップの接合方法は繰り返し圧力変化に対して高耐久性を有する接合 方法が開発されており、高圧センサーメーカーによりその手法が異なる。今回ダイアフラ ム接合性の評価を顧客に依頼して行う予定であったが、顧客の評価スケジュールに間に合 わず、接合性を評価するに至らなかった。接合性に影響するダイアフラム側に求められる 性能として、接合材との界面となるダイアフラム感圧部表面の粗さの均一性が重要で、特 に方向性があってはならない。今回ダイアフラムの最終仕上げ工程として自動研磨機を用 いたが、顧客が要求する表面粗さに調整が可能であることが求められる。参考までに自動 研磨機による表面粗さ測定値を表3に示す。



口4.5mmの歪ゲージ

表3 ダイアフラム感圧部表面の粗さ測定結果

| 測定方向 | Ra | Rz | RSm |
|-------|-------|-------|---------|
| ①内溝平行 | 0.331 | 3.128 | 86.372 |
| ②内溝直角 | 0.237 | 1.604 | 105.886 |

図 40 圧力ゲージチップ搭載部

2.5.2 顧客耐久性評価

2.5.1のチップ接合性評価後、顧客である日立オートモティブシステムズ(株)電子設計本部センサ設計部にて耐久性試験を行うことを計画したが、顧客スケジュールに間に合わず耐久性評価を行うことができなかった。計画した耐久性評価項目を表4に示す。今後補完研究において、表4の耐久性評価を実施する。

| 試験項目 | 試験条件 |
|------------|--|
| 圧力特性試験 | 1~100MPa 圧力印加しての出力確認 |
| 温度依存性試験 | -40~120℃での出力偏差の確認 |
| 高低温放置・通電試験 | -40℃×1,000 時間(放置及び通電) 140℃×1,000 時間(放置及び通電) |
| 高温高湿試験 | 80°C80%Rh×1,000時間 |
| ヒートショック試験 | -40~140℃×1,000 サイクル |

表4 耐久性評価項目

2.6 量産技術確立

2.6.1 金属ダイアフラムの板鍛造加工量産技術

今年度は第1工程、第2工程の単発金型を、量産用板鍛造ナックルリンクプレスマシン (400トン)に搭載可能なように新たに設計製作したが、金型寿命目標;2,000K (2,000,000個)以上を達成できるかどうかの検証に至らなかった。このため、継続する 補完研究において、金型の耐久性を評価する。

2.6.2 金属ダイアフラム板鍛造量産技術

今年度は、板鍛造ナックルリンクプレスマシン(400トン)(図41)に搭載可能な、 昨年導入したトランスファー装置(図42)を用いて、プレス生産能力;60個/分以上 (3,600個/時以上の量産プレス条件の確立を目指したが、第2工程金型の構造最適化に時 間を要し、確立に至らなかった。このため、量産プレス条件の確立を補完研究において、 継続して行うこととした。



図41 板鍛造用400トンプレス(㈱アマダ製ナックルリンクプレス)



搬送装置正面

操作ボックス

搬送装置側面

図42 トランスファー装置 「㈱サンコー技研製(移動アーム長さ:2,300 mm、サーボモータ駆動)」

2.6.3 FSPPT量産技術

今年度は摩擦ディスクを用いた最適化条件による、FSPPT量産技術の確立を行うこと を目標としたが、外観品質でバリの発生防止が最も大きな課題となり、これをクリアで きなかった。最終的な量産性目標である、接合能力;接合金型1台の接合能力、600U PH(Unit/Hr)以上の検証には至らなかった。しかし接合時間11秒(約6ユニット/ 分)を達成できたので、補完研究においてさらなる短縮条件を確立する。

最終章 全体総括

- 1. 高圧センサ用SUS630金属ダイアフラムの冷間鍛造試作金型によるプレス加工 実験により、クラック発生の無い金型構造の最適化設計技術を確立した。
- 2. 金型構造を最適化した精密冷間鍛造用金型の製作を行い、製作した金型は量産性に 耐えることをプレス加工実験により実証できた。
- 3. 構造最適化金型を冷間鍛造用順送プレスに登載して、SUS630金属ダイアフラムを試作し、量産用プレス条件を確立した。
- 4. 摩擦攪拌とレーザ溶接技術による、SUS630冷間鍛造金属ダイアフラムとSU S630導圧管を接合する新しい技術を開発し、接合部は冷熱衝撃試験および塩水 噴霧試験に十分耐える信頼性を有することを試験により検証した。
- 5. 本技術開発により、難加工材であるマルテンサイト系ステンレスの順送プレスによ る冷間鍛造加工が可能となり、プレス加工応用分野拡大に貢献できた。
- 本研究で開発した摩擦ディスクによる金属管の内周接合技術は、高耐圧が要求される金属部品に応用することで、金属ダイアフラム以外の高耐圧プレス加工品の製品 開発が可能となった。