

別紙 1

近畿0608002-1

平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業
「絞りプレス加工における洗浄レス化技術およびその実用化技術の開発」

研究開発成果報告書

平成22年3月

委託者 近畿経済産業局
委託先 財団法人わかやま産業振興財団

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 (高度化目標、技術的目標)

1) 研究開発の背景

自動車産業や家電産業では、その多くの金属部品をプレス加工に頼っている。その理由は、生産性に優れた比較的低コストで寸法安定性の高い部品加工がなされることが主な理由となっている。本提案での川下企業(情報家電)でも事情は同様で、プレス加工への期待度は高く、性能、コストおよび生産性などの要求は年々厳しさが増している。特に、小型化、軽量化への対応のため、プレス加工向きでない形状の製品への試作加工の要求や難加工材でのプレス加工技術などプレス加工業間での技術競争が激しくなっている。昨今では、それら以外に、環境保全への配慮と製品中に残存する有害化学物質への懸念があり、製品の安全・安心に関する幅広い対応が望まれている。

プレス加工では、機械システムを構成するプレス、金型等の個々の特性とそれらから成るシステム全体の性能特性が必要である。また同時に、被加工材の加工性も大きな要素となる。特に、プレス加工技術の向上と相まって加工性の悪い製品への実用化が望まれるようになってきた。それに伴い、潤滑剤への性能要求と使用量の増大が進んでいる。また最近では、環境に配慮した加工法の検討や製品中の化学物質による輸出規制等で加工時に使用される潤滑剤の使用を極力抑えた加工方法(ドライ加工、洗浄スス化等)の検討が急がれている。

洗浄スス化に向けたプレス加工では、潤滑剤が存在した場合と同程度もしくはそれ以上のトライボロジ―特性が必要である。この分野(打抜きプレス、絞りプレスなどプレス加工を含むすべての金属・機械加工)における先駆的で唯一の(我々の調査した範囲では)開発事例は、元東京都立産業技術研究所の片岡らと山陽プレス工業との取り組みである。その内容はアルミニウムの絞り加工でドライ加工が可能になったことが紹介されているが、アルミニウムは材料特性上、ドライ加工の可能性が高いことは塑性学会等でも指摘されている。特にステンレスでは材料特性から判断してドライ加工によるプレス加工は困難とされており、昨年春開催された塑性加工学会でもその研究成果の一端が報告されている程度である(野口裕之ら、平成18年度塑性加工春季講演会講演論文集 P81)。また、この研究グループは平成18年度の地域新生コンソーシアム研究開発事業でも「グリーン製造技術を目指したドライプレス金型の実用化」のテーマで採択されている。今後、難加工材を対象としたドライ加工技術の開発に向けた取り組みがなされるものと考えられる。しかし、この提案においても、絞り工程のみのドライ化を検討するに終始している。金属プレス加工では、プレス加工法、例えば順送金型方式でも、トランスフアー金型方式でも、位置決めやブランク作成などで絞り加工以外にせん断加工(打抜き加工)をあわせもつ加工が大半を占めている。これらのドライ化にはまったく手がつけられていないのが現状である。このため、絞り加工工程のみをドライ化が可能となっても実用化までには乗り越えなくてはならない高いハードルが存在する。

一方、潤滑剤からの洗浄スス化技術として、比較的沸点の低い有機系化合物を用い、プレス加工し、製品に付着している潤滑剤を洗浄することなく気化させる方法が実用化されている。この方法で加工できる範囲であれば有効な方法と考えられるが、すべての加工に対しては無理があることに加え、気化させる装置をライン内に設置する必要とその気化ガスの処理などコストも必要など問題点も多い。

以上のような背景によりブレス加工での絞り加工では、潤滑剤の役割は大きく、潤滑剤に依存した製造技術といっても過言でない。その証拠に難加工材での加工や形状等で加工が難しい場合に潤滑剤の種類と量を調整する技術が各金属ブレス加工業でなされている。潤滑剤を用いる目的は、①新生金属面を極力露出させない。②金属と金属（工具と被加工材）の接触を少なくする。③①と②から、摩擦抵抗を小さくし、凝着を防ぐ。④蓄熱を防ぐ（放熱）従って、潤滑剤を用いない場合は、上記の4点を補う原理、仕組みが必要となり、洗浄スルス化またはドライ化に向けて、以下の条件が不可欠である。

- (1) 工具への凝着がない。原因としては、金属面での酸化や汚れ（大気中での浮遊物）・反応により生成する化合物による抵抗など
- (2) 工具の摩耗なし。凝着・アブリッジ、腐食（潤滑剤の添加物）
- (3) 工具の寸法変化なし。熱膨張・熱変形

本提案では、潤滑剤を使用しない環境を想定し、金属表面の摩擦係数を潤滑剤使用時と同程度になるような金属表面加工、摩擦係数低減を目的として、不活性ガスを金属接触面に誘導することが可能な金型設計さらには摩擦による発熱を押しやる金型冷却方法の検討を実施し、洗浄スルス化に向けた実用性の高い総合的なブレス加工技術の開発および量産化技術の構築を目指す。具体的には、情報家電用ブレス加工製品を対象とする絞り加工において、そのブランク製造（打抜き加工）、絞り（絞り加工）、ブランクカット工程（打抜き加工）までの実用的なすべての生産工程で洗浄スルス化技術の確立を目標とする。それぞれの工程における研究課題を以下に示す。

- (1) 金型表面形状の検討（摩擦係数低減に向けた金属表面加工とその性能保持技術）（金属表面加工：イオン注入技術、イエフコ処理、DLC加工等）
 - (2) 各工程での金属接触部への不活性ガス導入（摩擦係数低減）
 - (3) 各工程での金型局部冷却法の検討（金属摩擦による発熱を制御するため）
 - (4) 絞り工程での圧縮空気導入による潤滑効果（摩擦係数低減）
 - (5) ブランク製造工程とブランクカット工程において、凝着物の除去機能を有する金型設計。
- 金属ブレス加工における金型と被加工材の間には、塑性加工による大きな摩擦と高熱が発生する。現状技術では、金型と被加工材（製品）双方の摩擦・傷を軽減し、製品の寸法精度・生産性の向上を図るために、大量の潤滑剤（掛け油）を使用している。そのためブレス後には、有機溶剤等使用による脱脂洗浄が必要不可欠となり、潤滑剤の購入・洗浄工程・廃液処分等のコスト及び、環境面での負荷（有機剤作業負荷・地球環境への影響）が、大きくなっている。

そこで、一般的な金属絞り加工としては比較的絞り率の低いものであるが、コイン電池用部品（約φ20mm、高さ約3mm、厚み約0.25mm、R約0.15mm 材質 ステンレス）を対象とし、ブレス加工工程で用いられる潤滑剤の使用量を削減し、洗浄スルス化によるブレス加工の実用化を当初の目標とす。対象とする金属加工製品の形状を図 1-1 に示す。この製品は、コイン電池用部品であるが、

2) 研究の目的及び目標

本計画では、ブレス加工用被加工材として難易度が高いステンレス製品を対象にブレス加工工程で用いられる潤滑剤の使用量を削減し、洗浄スルス化によるブレス加工の実用化を当初の目標とする。対象とする金属加工製品の形状を図 1-1 に示す。この製品は、コイン電池用部品であるが、

一般的な、金属絞り加工としては、比較的、絞り率の低いものであるが、実用化を目指した一貫性のある製造プロセスの構築のために研究対象製品とした。

研究を進めるにつれ、多くの知見を蓄積することにより、潤滑剤を全く使用しないドライ加工へと展開したい。同時に、絞り率を向上させて深絞り製品でも洗浄ス加工が可能なる技術の完成を目標とする。同時に、新規なプレス加工技術となるトランスフナー加工機に関する技術の確立し、試作または小ロットの量産向けの洗浄ス加工を伴うプレス加工機としての事業化を目指す。以上の活動を通じて、「高度化指針」となる「金型・工具の高機能化及び耐久性の向上」「環境配慮に対応した技術の開発」を達成したいと考えている。

目標としては、上記、プレス加工品を洗浄ス加工条件下で毎分60個生産可能なトランスフナー金型方式によるプレス加工システムの構築し、そのメンテナンスサイクルを打抜きで30万ショット、絞りで100万ショットを目標とする。個々の研究課題とそれらの技術的目標を以下に記載する。

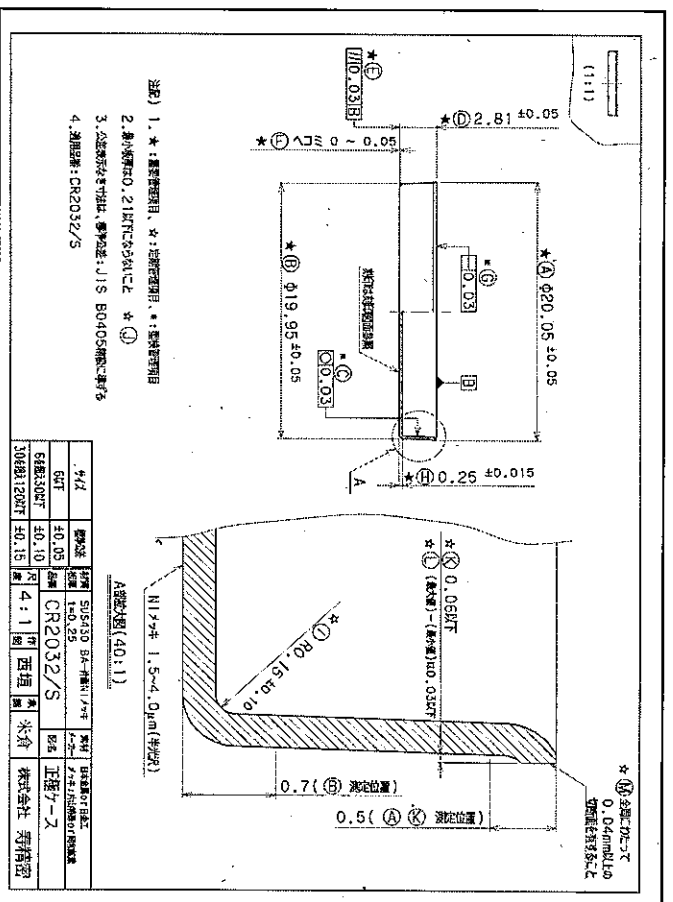


図 1-1 提案事業で目標とする電池用プレス加工部品の形状

(1) 打抜き及び絞りプレス加工における洗浄ス加工技術:
打抜き金型

金属処理技術及び不活性ガス導入による摩擦係数削減

技術目標: 摩擦係数 0.15 以下 (DLC 加工を伴う場合)

金型冷却法の検討

技術目標: 通常プレス時で金型を常温に保持

絞り金型 技術目標は打抜き同様

金属処理技術及び不活性ガス導入による摩擦係数削減

金型冷却法の検討

トランスフナー金型によるプレスシステム構築

技術目標：毎分 60 回のプレス加工が可能なこと。

(2) プレス金型の最適形状に関する研究

技術目標：対象金属プレス製品向けシミュレーションの完成

(3) DLC 加工による摩擦係数低減及びその長寿命化に関する研究

金属イオン注入法による DLC 加工の長寿命化

技術目標：摩擦係数：スクラッチ試験 100N 以上で 0.15 以下

寿命：金型メンテナンス時に摩擦係数の変動が 10% 以内であること

3) 平成21年度 研究実施内容と分担機関

① 洗浄スエ化を目指した試作金型の設計及び製作(絞り金型)に関する研究

(株式会社寿精密、株式会社三晃精密)

予想される必要基本機能を盛り込んだ試作金型の構想・設計・製作を行う。以下の機能を盛り込んだ金型設計とし、この金型にて、改良を加えながら基礎実験を行う。

①-1: 摩擦係数削減を目的とした金属表面加工技術・表面処理の検討。

・絞り工程での金属接触の部分の摩擦係数低減を図るため、イエゾコ処理等の機械処理の検討を行う。

・絞りダイ・シロ押さえ板の表面形状の検討も合わせて行う。

①-2: 局部冷却方法の検討。

・金属接触による摩擦熱を押さえるため、金型の局部冷却方法の検討を行う。金型冷却方法は、基本的に樹脂成形金型の温調方式と同等に、水を冷却媒体とし、金型内を循環させることで金型温度を一定に保つ設計とする。

①-3: 不活性ガスを利用した摩擦係数低減策の検討。

・金属接触部(摺動部)へ窒素や二酸化炭素などの不活性ガスを気密状態にて導入し、金属接触による酸化反応の抑制や冷却、除湿効果を持たせることで摩擦低減をはかる機構を検討する。

② 摩擦係数低減化に向けた金型表面加工に関する研究 金属イオン注入技術

(国立大学法人大阪大学、和歌山県工業技術センター)

本研究に用いるイオン注入の方法は半導体製造分野で汎用されているイオン注入と同様の手法であるが、イオン種を B や P といった軽元素だけではなく遷移金属イオン

(Ti, Cr, Co, Mo 等)にまで拡大し、また、注入エネルギーは数 100keV から数 10keV 以下と低くすることで表面第1層におけるより効果的な改質を狙う。さらに、ビーム断面はサブ・mm から数cm以上へと大面積化する等の仕様検討を行う。

また、実際に数種類の金属元素を注入し、イオン注入技術の評価を行う。(分析手法:SEM, レーザー顕微鏡, AFM, XPS, AES)

③ 摩擦係数低減化に向けた金型表面加工に関する研究 DLCコーティング

(清水電設工業株式会社、和歌山県工業技術センター)

DLC コーティングの成膜条件による特性の評価(スクラッチ試験、微小硬度、摩擦係数、摩擦試験)を比較し、洗浄スエ化との関連項目の調査を行う。

更にサンプルプレートによる擬似洗浄スエ化絞り工程試験を行い、DLC コーティングの負荷状

況を調査し、特性との関連性を評価する。

(検討項目: DLC コーティングの前処理、中間層および水素含有量による、特性の変化状況を把握し、洗浄スプレースとの関連性を検討する。)

また、DLC コーティングされた試料表面を Ar スパッタを併用して XPS スペクトルを測定することにより、膜厚や超硬合金の電子状態の分析を行う。

④絞り工程での最適加工条件の設定に関する研究

(国立大学法人東京農工大学、和歌山県工業技術センター)

有限要素法ソフト(ABAQUS)を用いて最適加工条件の探索を行う。計算精度を高めるため、計算に用いる材料モデル(異方性降伏関数)を正確に同定する必要がある。そのため第1ステップとして、材料の異方性を評価するための引張試験を行う。これにより、材料の機械特性および異方性を定量的に測定し、これらのデータを元にして、異方性降伏関数のパラメータを計算する。

⑤プロジェクトの管理・運営

(財団法人わかやま産業振興財団)

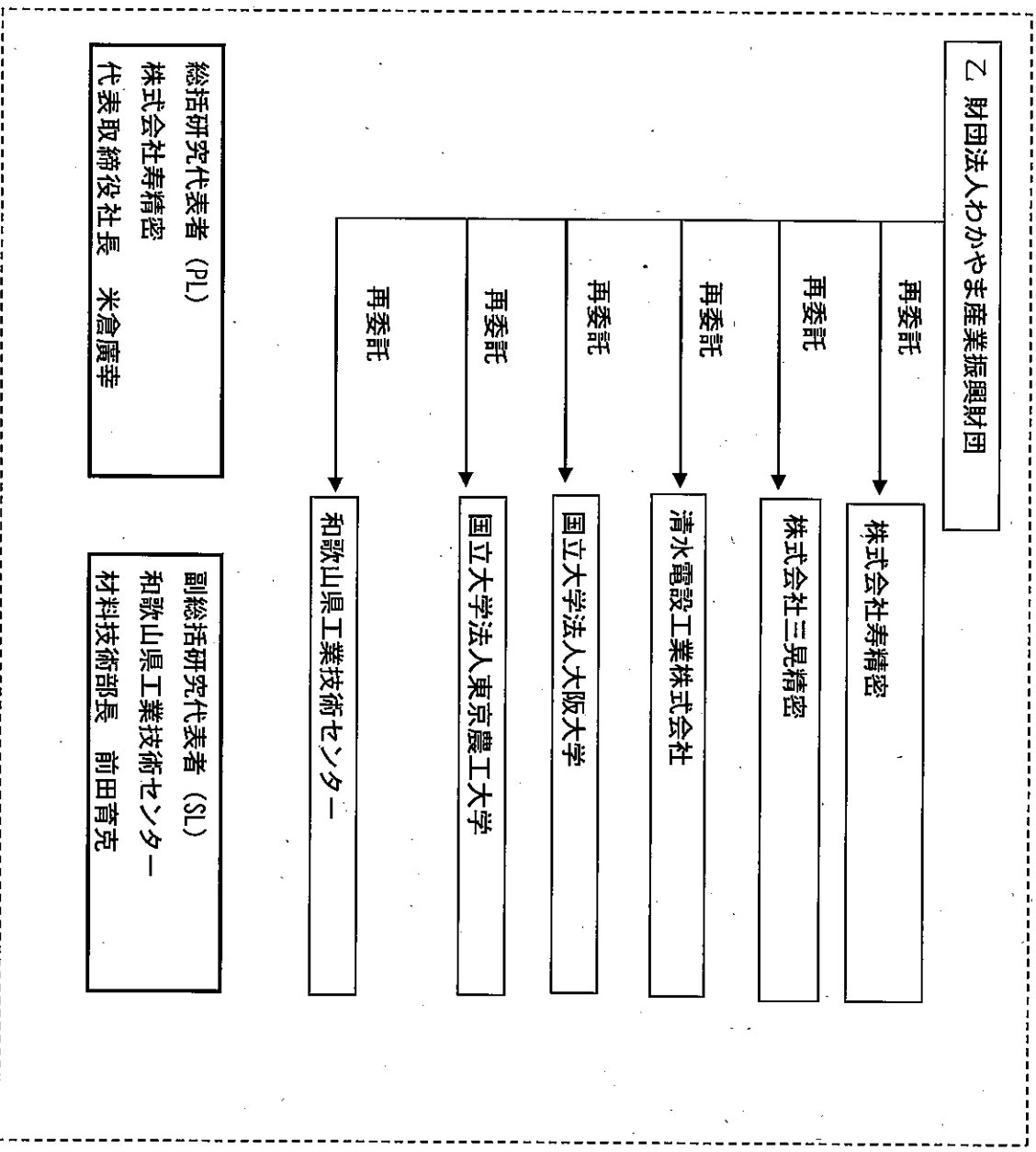
本プロジェクトを円滑に進めるため、コンソーシアム構成員相互の連絡調整、個別研究チームの進捗状況の把握及び財産管理等のプロジェクトの管理及び運営を行う。

1-1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

研究体制

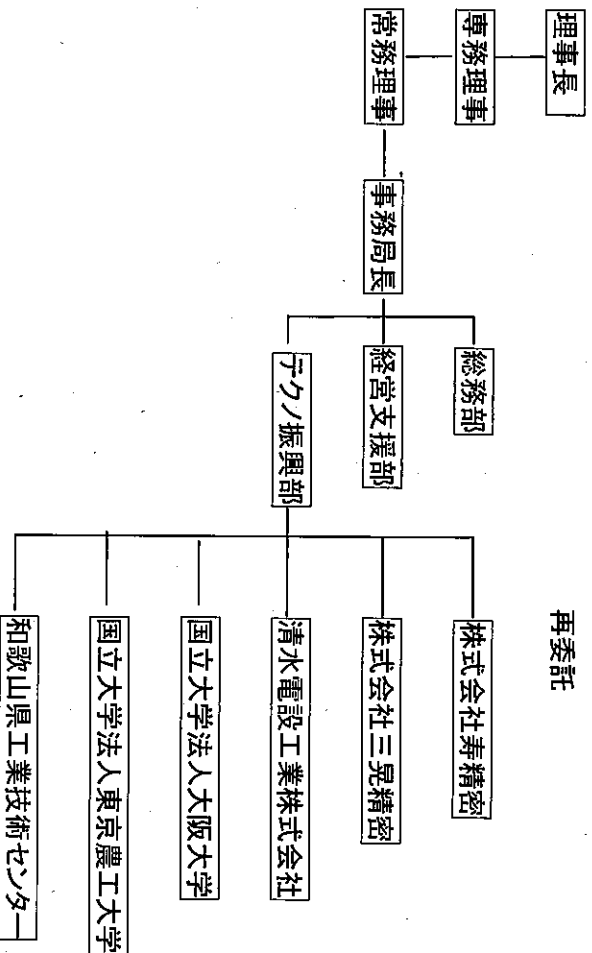
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

事業管理者 【財団法人わかやま産業振興財団】



再委託

3) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人わかやま産業振興財団

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
西 正也	子クノ振興部 班長	⑤
南宅 芳彦	子クノ振興部 主任	⑤
旅田 健史	子クノ振興部 主査	⑤

【再委託先】

株式会社寿精密

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
米倉 廣幸	代表取締役社長	①
西垣 史郎	非常勤顧問	①
久保 修	技術管理部 部長	①
坂中 伸行	技術管理部 設計技術課長	①
前田 稔	技術管理部 開発担当	①
島本 康浩	技術管理部 組立仕上げ課担当	①
齋藤 良彰	経営企画室 室長	①
山本 悟	製造一課 金型加工主任	①
宇治田 利夫	製造二課 金型加工社員	①

株式会社三晃精密

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
濱本 浩一	代表取締役社長	①
石井 高広	金型課長	①
大平 俊之	営業課主任	①

清水電設工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
山本 良三	開発室長	③
天野 友子	研究員	③

国立大学法人大阪大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
谷村 克己	産業科学技術研究所 教授	②
布垣 昌伸	招聘研究員	②

国立大学法人東京農工大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
桑原 利彦	大学院共生科学技術研究部先端機械システム部門・教授	④

和歌山県工業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
前田 育克	材料技術部・部長	②、③、④
今西 敏人	材料技術部・主査研究員	②、③、④
時枝 健太郎	材料技術部・副主査研究員	②、③、④
重本 明彦	材料技術部・副主査研究員	②、③、④
山下 宗哲	材料技術部・副主査研究員	②、③、④
前田 裕司	システム技術部・部長	②、③、④

4) 協力者

アドバイザー委嘱委員の所属、氏名

◎ 松下電池工業株式会社

一次電池社 リチウム一次電池ビジネスユニット

商品グループマネージャー 桑村俊哉

資材グループマネージャー 土屋 潔

◎ 大阪大学知的財産本部

山本 進

①洗浄しス化を目指した試作金型の設計及び製作(絞り金型)に関する研究 (株式会社寿精密、株式会社三晃精密)

試作金型(抜き金型、絞り金型)により種々の条件下で試作プレス加工を実施し、幾つかの結論を得ることができた。一つは、絞りプレス加工でワークが塑性変形する時、最も摩擦が発生する部位に DLC 加工などの表面処理を実施しても、ブランク(ワーク)作成時に抜き加工で生じるエッジ・バリがそのまま持ち込まれると、絞り加工を行う工具側に凝着物が発生し、これが原因で次のワークにキズが発生することがわかった。また、バリを予め絞り加工前に除去した条件での試作を行い、キズが発生しない良品試作数(工具寿命)が飛躍的にUPすること(前期 100 個未満⇒今期 3000 個以上継続可能)が裏付けられた。ただし、今年度は、金型内へのワーク挿入が、1個単位での手作業であることと、一工程のみ自動運転・停止での繰り返しのため、数多くの量試加工ができず、摩擦による熱発生が連続しないことも加工性を有利にしていると思われる。別途セラミック系工具の試作では、凝着物を発生させないことによる同様の良品数UP結果(1000 個以上継続可能)が得られた。これらの結果は、今後の量産金型設計に活かすよう検討する。

②摩擦係数低減化に向けた金型表面加工に関する研究 金属イオン注入技術(国立大学法人大阪大学、和歌山県工業技術センター)

大面積のイオン注入を行うためイオン注入装置の改良を実施し、特に蒸着源の調整を行ったが、金属の蒸着量制御が難しく期待したほどにイオン注入できていないことが判明したので一部計画変更し、現在、金属中間層をスパッタリングにて施した場合の検討も実施した。

③摩擦係数低減化に向けた金型表面加工に関する研究 DLC コーティング(清水電設工業株式会社、和歌山県工業技術センター)

製品絞り加工(量試プレス)工具に3種類の方法でDLC加工を行い、それらの工具を用いて、実際にプレス加工を行うことでDLC加工法と金属プレス加工との関係を検討した。その結果、1000個程度の加工であるが製品表面には微細な線状痕が発生するが、3種類の DLC ともその有効性・耐久性があることが分かった。しかし、DLC の膜厚および表面粗さが初期段階の性能に影響することもわかった。

④絞り工程での最適加工条件の設定に関する研究 (国立大学法人東京農工大学、和歌山県工業技術センター)

ステンレス SUS430(片面ニツケルメッキ付)の被加工材において、前年度の物性試験結果をもとに有限要素法によるシミュレーションを完成させた。またシミュレーションにより計算したプレス加工品形状と実際のプレス加工品形状を比較検討した結果、両者はほぼ一致することが確認できた。今後、シミュレーション結果の有効利用を図る。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人わかやま産業振興財団 (担当: 西前浩平)

TEL:073-432-3412 FAX:073-432-3314 e-mail: nishimae@yarkuouendan.jp

第2章 本論

①洗浄しス化を目指した試作金型の設計及び製作(絞り金型)に関する研究 (株式会社寿精密、株式会社三晃精密)

成果としてまず第一は、今年度の目標試作数である10万個レベルを、試作・完了し、その10万個試作時点において、未だ良品な絞り加工品が試作できており、今後も継続して試作が可能であることが確認できたことである。工具の寿命延長での観点で記述すれば、初年度において50個、昨年度3000個の実績から、本年度において1万個、10万個(初年度比:2000倍)の試作が可能な絞り加工条件を、系統立てた改善の積み重ねにより達成できたことである。

そしてやはり、テーマ成功への一番の問題点は、『汚れと異物』に対する考え方と対策である。まずは、材料、工具、環境の3つの観点で、絞り工程に持ち込まれる『汚れと異物』を、限り無くゼロにすることである。このことが色々な取り組みと、その確認試作において、立証されたことは、大きな成果と確信している。

また、重複記述となるが、当初のテーマ目標数である100万個の事業ベースで考察する時、今回の10万個試作後の工具において、主要部位の寸法を簡易測定したデータからは、10万個試作後、やや消耗の方向性が見られるが、殆ど測定誤差の範囲であり、大きな寸法変化(≒磨耗)は見られない内容である。製品寸法の外形規格には、許容幅=0.100mmがあり、言い換えれば直径で、0.1mmの磨耗幅が認められているわけである、仮に10万個試作にて0.005mm(5 μ m)の磨耗(直径)が有ったとするなら、20倍(200万個まで可能)の余裕比が勘案(単純比例の場合)できることになり、よって、このまま試作を継続した場合でも、100万個の事業レベルは狙える範囲にあると考える。今回の試作成果を踏まえ、下記に提言する工法をもってすれば、そう難しいものでもない、……とさえ、思える。

次に、今回試作のドキュメントから、ジルコニア製の絞りパンチにおいては、先端が0.5mmレベルで剥がれる工具事故が発生している。今回使用の絞りパンチの形状が先端径において、 $\Phi 19.450$ のストレート形状であり、絞り成形品に対し、抜き勾配の配慮が不足しているために発生したと考察している。実際、コイン電池での正極ケースには、その外形において、上部 $\Phi 20.05 \pm 0.05$ に対して、ケースの下部では、 $\Phi 19.95 \pm 0.05$ のテーパと、交差が認められている。よって次回製作工具では、先端形状に1/100~1/50の抜き勾配(テーパ)を実施したいと考える。焼結体のジルコニアには、引っ張り方向の力に対する強度がやや低く、その性質上、内部に金属製工具のような繊維強度が無いことも先端剥離事故を引き起こす原因と考察します。

最後に、今後の事業化構想に対する提言として、まとめますと、

今回の量産試作で使用した工法及び設備全般においては、抜き工程と、絞り工程が、分断された単能機になっていることから、抜き工程以降、絞り工程までの間に、ブランク同士でのコスレ傷の発生（袋詰め納入）や、汚れの付着、及び裏・表面が不揃い（バラ）なために再度整理し直し（汚れ、工数）が必要など、工法（生産のトータルな流れ）面での悪さが、量産個数のUP（工具寿命の延長）に対し、支障を来たしていると考えられる。今回の試作までは、これもやむを得ない個別工法の同時進行と、見極めに力点を置いた推進であった。しかし100万個の事業レベルを構想する段階では、不良がお客様において見つかるようなことが、大量の世界だからと許される内容ではない。そこでは不良率（%）のレベルでは無く、不良の絶対個体数のレベルでの問題であると考えなければならぬ。

100万個レベルでの量産においては、次のような内容・観点を検討すべきであると、提言する。

1) 今回の試作までに確認できた成果（工法、問題点、）を踏まえ、抜き工程と絞り工程は、限り無く近づける生産体制、設備の流れとすること。

最も、近づけた工法は、順送金型内にて、一挙に抜き～絞りまで出来ないかを検討することである。そうすれば、汚れの持込は、最小限に出来る。また裏表の判別・整理は発生しない。ブランク同士のコスレ傷は発生しない。2枚の吸着は発生しない。よって、2枚絞りの挿入トラプルはゼロに出来る。

プレス機の上下動作を、絞り加工の条件優先に設定が必要なことや、同一金型としたために、プレス機の定格選定が大きくなってしまったり、大きな金型になり、メンテナンスが悪くなること（ボルスタ一寸法、ダイハイト仕様の問題点が残る）が、心配で、どうしても同一金型内にて、抜き～絞りまで、一環した順送金型が製作できないときは、となり合わせのプレス機に、個別の順送金型を載せ、連動運転をすればよい。

2) 今回は、速乾性油を使用して、汚れの堆積（蓄積）をリセットさせると同時に、冷却効果も代用したが、洗浄しなすな工法として認知されるならば、あえてドライ絞りに、わざわざ無くてもよい。速乾性油の機能と効果は大きいと思う。

3) ジルコニア製の工具には、まだまだ検証すべき、前向きな可能性があるかと判断する。絞りパンチの先端にテーパを設ける形状にするなり、ダイの口元を『トラクトリック曲線』の形状（別途：東京農工大学製の研究成果内容）に加工するなり、確認してみる観点には、まだまだあると思われる。ジルコニアは、金属製品での絞り加工において、ダイヤモノドに次ぐ凝着物を作りにくい性質のDNAを持った材質なのである。

4) 生産設備を設置するに当たっては、クリーンな環境に設置しなければ、上述の工法、施策、投資は、全てムダになるかも知れない。1μmサイズ以上を対象とした『ゴミ・フ

リー環境』が作れないなら、この推進テーマは、中止すべきであると言ってよい。事業化半ばにて、利益を出す直前に、設備の設置条件・環境の悪さに気づき、品質面でのトラブル発生で、失敗するであろう。

5) 最後に、この提言が生かされて、検討・推進がなされれば、事業化レベルでの『ものづくり』は、成功すると思う。後は、最小限な投資にて、これを実現するからであり、いかにコストを抑えたトータルな生産体制が構築できるかであると思う。

②摩擦係数低減化に向けた金型表面加工に関する研究 金属イオン注入技術

低エネルギーイオン注入を表面への機能性付与のための前処理として用いる全く新しい表面改質法をDLCコーティングに適用することを目標として、その実現に不可欠な装置技術であるところの常温で固体状態の物質をも原料とすることを可能とする。(1) 金属イオン源の試作、とそれを用いての(2) 数種類の元素のイオン注入工程の実施、を課題とした。(1)として金属溶解炉やドライプロセスなどに用いる通称 EB(電子ビーム) ガンを蒸発源とし、PIG(ペニングイオンゲージ)と呼ばれる低ガス圧放電機構でイオン源プラズマを生成するところの放電室を、同軸状に組み上げる構造の金属イオン源の構成を提案した。作製したEBガンをを用いてガンでのアーック放電を誘発することなく、気体・金属の混合プラズマを10⁻²Pa台の低ガス圧下で安定に発生させることができる金属イオン源構成上の基本的要件を解決した。そこで、高純度ニッケルを蒸発させ僅少の窒素ガスを導入して生成した混合プラズマからイオンを引き出した(ビームエネルギー6kV)後、注入した試料(WCなど)の表面組成分析を行った。しかし、分析結果によるとイオン源本体構成部品からの不純物元素が多く、Ni元素は検知されなかった。但し、低エネルギービームであるため、イオン注入操作を始めた直前までに不純物膜が被照射表面に付着していたり、表面をスパッタクリーニングしたりした場合は注入層が消滅することが予想された。その後、亜鉛ZnやマンガンMn、チタンTiなどの活性元素のイオンビーム生成が出来るようになった。

③摩擦係数低減化に向けた金型表面加工に関する研究 DLCコーティング(清水電設工業、大阪大学、和歌山県工業技術センター)

目的と実施内容

本研究では、プレス加工用被加工材として難易度が高いステンレス製品を対象に、プレス加工工程で用いられる潤滑剤の使用量を削減し、洗浄プレス化によるプレス加工の実用化を目標とする。そのための重要な課題として、金属表面の摩擦係数を潤滑剤使用時と同程度になるような金属表面加工の確立が必要であり、DLCコーティングによる「摩擦係数低減化に向けた金型表面加工に関する研究」を実施して、その確立に資することを目的とする。

DLC膜は多数の優れた特性を有しているが、特に高硬度のほか優れた低摩擦性、耐摩耗性、

耐食性を有していることから、切削工具や摺動摩擦機械部品・エンジン部品などのトライボロジ分野において実用化が進展している。本研究では、特に低摩擦性と耐耗性を利用して本研究目標を達成しようとするものである。

今回の研究成果をまとめると以下の通りである。

1) S-DLC コーティング金型工具での1万個試作プレスの結果、当初は良好な製品であったが、途中から製品内面に細い線状の小さなキズが発生し、徐々に小さくなっていったが、最終でも僅かに残存した。表面観察および SEM-EDX 分析の結果より、キズ発生の原因として、異物が打抜きブランクとダイの間に侵入してダイロ元R部で噛込み摺動してキズが発生し、ブランク材（製品）の一部がダイに凝着し、その突起部で製品にキズを付けたと考えられる。

2) S-DLC コーティングの摩擦摩擦特性について、摩擦係数はサイクル数につれて僅かに上昇する傾向にあり、負荷の小さい方が上昇率が大きく、摩擦係数の大きさは負荷の大きい方が若干小さめの傾向を示した。窒素ガスを導入するとサイクル数につれて逆に僅かに摩擦係数が小さくなる傾向にあったが、摩擦係数の大きさを極端に低下させることは認められなかった。

さらに、摺動距離に影響について、12,000 サイクルまでは摩擦係数は僅かに上昇する傾向にあるが、18,000 サイクルではほぼ水平（上昇・下降なし）となった。ダイスクのトラック幅およびボール摩耗痕径は、サイクル数が多い程大きくなるが18,000 サイクルでは増加率は小さくなり、その後の収束が期待される傾向となった。試験後のダイスクの摺動痕トラック部の深さは約 0.1 μ m 程度と見なされ、コーティング膜厚の1.0~1.5 μ m に比べ僅少であり、かなりの長寿命が予想できる結果となった。

3) S-DLC コーティングの超微少硬度を2種類の試験機で測定比較した結果、マルテンズ硬度については約35%の差があったことより、薄膜 DLC 硬度については、同じ試験機で測定して相对比较するのが好ましいと言える。

4) ケース用金型工具の表面粗さ・ダイロ元R寸法について、10万個プレスの前後で測定して比較した結果、表面粗さ Ra はプレスの前後の差が微小であり、正負の両方の差があることより測定誤差範囲内と思われる。10万個のプレスではほとんど変化しないものと考えられる。なお、ダイロ元R寸法については、今回の測定結果だけではプレスによる影響の評価は困難であった。しかし測定方法等の改善点が明らかとなり今後の測定に生かしていくことができる。

今回の研究での成果をもとに、S-DLS コーティングの長期の摩擦摩擦試験を計画して、S-DLC コーティングの金型工具の寿命を推定できるかどうかを、補充研究で追求していきたい。

④絞り工程での最適加工条件の設定に関する研究 （国立大学法人東京農工大学、和歌山県工業技術センター）

研究目的

昨年度の研究では、ダイス肩形状が単純な円弧形状の場合について円筒絞り解析を行った。今年度は、ダイス肩形状をトラクトリクス曲線に仕上げた場合の円筒絞り解析を行う。

トラクタリクス曲線を対象とした理由は、トラクタリクス曲線を用いると絞り加工後の容器側壁の残留応力が低減して、側壁の真直度が向上することが知られているからである。今年度は、トラクタリクスダイを用いることにより、円弧ダイと比較して、円筒容器の側壁の形状精度がどれぐらい向上するのかを、シミュレーションにより検証する。

1. トラクタリクスダイを用いた FEM 解析結果

トラクタリクスダイを用いた断面形状の計算結果と、昨年度、最適と考えられた $R=1.25\text{mm}$ の円弧ダイを用いた断面形状の浅絞り成形中のブラントにおける相当塑性ひずみ分布について計算を行った。この図の中で示されている最終形状は加工後の状態であり、既に工具から離れており、スプリングバックを起こしている。

$a=1.6$ のとき、側面部の円筒度が向上し、その値が小さいほど精度が向上していることが分かった。円弧ダイを用いた場合と $a=1.6$ の円筒度を比較すると、 $a=1.6$ では円筒度が小さくなり寸法精度が向上した。また、図 1 よりトラクタリクスダイを用いると円弧ダイを用いた場合に対して側面部が半径方向に膨らむことがわかった。そのため、円弧ダイとトラクタリクスダイを比較すると、トラクタリクスダイの方が円筒度が小さく、精度が向上することがわかった。

$a=0.8$ と $a=1.6$ を比較すると、 $a=1.6$ ではダイの肩部とブラントの接触部である赤丸部とパンチとの距離が大きくなる。このことより、 $a=0.8$ においては初めに接触することにより成形される凹み(ピントクの丸)と、ブラントがダイ、ホルダーから抜けるときに成形される(黄色の丸)2つの凹みがあるのに対して、 $a=1.6$ においてはブラントがダイ、ホルダーから抜けるときに成形される1つの凹み(緑の丸)だけとなる。また、円弧ダイと比較して真円度が向上する理由はトラクタリクスダイは円弧ダイと違いブラントの流れ込み方が規則的でないためと考えられる。トラクタリクスダイは、始めにブラントと接触する部分が最も急となっており、その後滑らかな曲線が続いている。この後ダイは滑らかな曲線を持っているため、ブラントの凹んだ部分がダイと接触せず、ブラント端部のみがダイと接触する。この凹みが浅絞り終了まで残るため、全体的に見ると側面部の真円度が向上する。一方円弧ダイでは、規則的なダイ形状となっており、ブラント端部が全てダイと接触するため、側面部の形状が全体的にダイに沿った形状になる。塑性ひずみ分布では $a=0.8$ ではブラントのダイと接触する部分が大きくひずみが生じており、しごきを受けたと考えられる。

2. 逆トラクタリクスダイを用いた FEM 解析結果

逆トラクタリクスダイ、即ちトラクタリクス曲線を先ほど用いた断面形状の計算結果と、前回最適と考えられた $R=1.25\text{mm}$ の円弧ダイを用いた断面形状と相当塑性ひずみ分布に関する計算を行った。

パラメータ a を小さくすることにより、側面部が垂直に立つことが分かった。また、逆

トラクタリクスダイを用いた側面部が円弧ダイを用いた場合と比較して内側になることが分かった。絞り終わったブランク側面部を見てみると、ブランクの幅はダイとパンチのクリアランスより小さくなっている。逆トラクタリクスダイを用いた場合、ブランク材はしごきを受けると推測される。

3. 生産効率上昇のためのパンチストローク量変更とトラクタリクスダイの作成方法

以上のように $a = 1.6$ のトラクタリクスダイを用いると円筒度が向上し良い断面形状になると見込まれることが分かった。しかし、今回計算を行ったトラクタリクスダイでは、パンチストローク量が大きくなってしまい、機械が無駄に動くため生産効率上望ましくない。そのため、パンチストローク量を減少させるためにトラクタリクスダイの修正を行った。

前回、FEM解析上でトラクタリクスダイを作成するために、金型を作成する工作機械の分解能と同じく 0.0001mm ごとに節点を作成しメッシュを作成した。しかし、この方法ではパンチストローク量が 19mm と非常に大きくなってしまったため、 0.1mm ごとに節点を作成しトラクタリクスダイを作成した。 0.0001mm ごとに節点を作成したトラクタリクス曲線と 0.1mm ごとに節点を作成したトラクタリクス曲線を示すと収束点の位置が大きく変わることが分かる。この変化によりパンチストローク量を減少できると考え FEM 解析を行った。しかし、この方法では、ダイのメッシュが粗くなり角ばってしまったため FEM 解析プログラムが動かない。そのため、トラクタリクスダイを作成する際に三点の曲率半径を求め、円弧近似を行った。曲率半径を求める際に曲率半径エクセルファイルを用いて曲率半径を求める。すると、これらに曲率半径、中心座標を代入して解析を行うことによりパンチストローク量 6.5mm で浅絞り成形解析を行った。

4. FEM 解析結果

トラクタリクスダイを用いた成形品での計算を行った。また、パンチストローク量 19mm で行った修正を施していないトラクタリクスダイを用いた成形品の計算結果によるとトラクタリクスダイを修正することで形状は変わるが円筒度はどちらも 0.02mm 程となり、円弧ダイより良い寸法精度となることが分かった。そのため、パンチストローク量を以前の 19mm から 6.5mm に抑えることが可能である。高さ 1.5mm 以上では計算結果と実験結果が異なるので、高さ 2mm に生じている凹みがなくなり、沿った形状になると推測される。

最終章 全体総括

まず第一に金型工具を表面加工し、約 3,000 回のプレス加工を無潤滑条件下で実施した。本年度、前半部分では、そのプレス回数を 10,000 回まで実施し、DLC 加工の種類やセラミックスでの評価を実施した。無潤滑条件下でのプレス加工 10,000 回での可能性が確かめられた。(担当である 2 企業以外に、清水電設工業㈱、工業技術センターが共同で実施) また、前年度に絞りプレス加工ができなくなる原因として、フランク加工時に残存するバリが絞りプレス加工時に剥がれ、それが加工工具に付着することが原因であると結論づけた。この解決策として、フランク作成での抜き加工の仕方を変更し、バリの発生を抑え、且つ、脱落しない形状のものを調製し、プレス加工を行うことでの可能性について検討し、その結果、ドライプレス加工の道筋を得た。

次に、ワークの自動挿入機を製作し、上記検討結果を基にして最も優れた条件下で 100,000 回のプレス加工を完成した。

更に金型の表面改質を改善するために PIG 放電を用いた金属イオン注入装置の改良を実施し、チタンイオン注入を確認し、注入した試料への DLC 加工を検討した。

また、金型形状を検討し、少しでも表面の摩擦抵抗を提言するために有限要素法ソフト (ABAQUS) を用いて最適加工条件の探索を目的に円弧ダイを用いた円筒容器の深絞りシミュレーションを行った。その結果、円筒容器の側壁部の真直度や容器底部の平坦度に及ぼす工具形状との関連性を明確化した。特に、ダイ肩 (口元) を $R=1.25\text{mm}$ 以上にすると、小さな R では発生した側壁形状の大きな凹みが消失し、製品寸法が向上することが解析で予測され、実験においても FEM 解析と同様に凹みを改善することができた。

ダイス肩の形状をトラクトリックス曲線で定義した場合のシミュレーションを行い、最も精度のよい容器形状を与える工具形状条件と最小バンプチストロークを明らかにした。プレス加工試作で実施した無潤滑条件下でのプレス加工 10,000 回を試みた結果について、その DLC 表面特性を評価し、プレス加工と DLC 膜との関連性について検討した。

以上の研究を結集した結果、ステンレス鋼の絞り加工において 10,000 回の洗浄プレス加工を実施することができた。