

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「精密三次元鏡面に資する金属プレス加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 財団法人滋賀県産業支援プラザ

目 次

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)	1～2
1-2	研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	2～6
1-3	成果概要	7
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	8

第2章 本 論

2-1	プレス据え込み加工	9～11
2-1-1	実施概要	9
2-1-2	実施内容	9
2-1-2-1	据え込み加工によるアルミ加工(その1)	9
i)	リフレクターの素材形状	9
ii)	破断面を持つ素材による据え込み加工	9
iii)	破断面素材のガイド付きパンチによる材料の流れおよび表面粗さ	9
iv)	穴内面全せん断品の据え込み加工	10
2-1-2-2	据え込み加工によるアルミ加工(その2)	10
i)	実験方法	10
ii)	実験結果	11
2-1-3	まとめ	11
2-2	プレス仕上げ加工パンチの形状、 押しつけ量、加工速度および加工時間の影響	12～17
2-2-1	実施概要	11
2-2-2	実験内容	12
2-2-2-1	プレス仕上げ加工金型	12
2-2-2-2	プレス仕上げ加工パンチ形状	12
2-2-3	実験方法	12
2-2-4	結果と考察	12
2-2-5	プレス加工品の評価方法	13
2-2-5-1	非接触表面粗さ測定機	13
2-2-5-2	表面粗さ評価方法および解析方法	14
2-2-5-3	粗さパラメータ	14
2-2-5-4	プレス仕上げ加工パンチ	15
i)	各種コーティング処理後におけるプレス仕上げ加工パンチ表面粗さ	15
ii)	プレス仕上げ加工後のプレス仕上げ加工パンチの表面粗さ	15
2-2-6	リフレクターの光学評価	16

2-2-6-1	LEDリフレクター形状の光学設計	16
2-2-6-2	比較製品としての切削加工によるリフレクターの鏡面部分の加工	16
2-2-6-3	光学特性評価	16
2-2-7	まとめと今後の課題	17
2-3	プレス仕上げ加工パンチ <u>面の低摩擦化</u>	18～20
2-3-1	実施概要	18
2-3-2	実施内容	18
2-3-2-1	実験装置	18
2-3-2-2	実験方法	18
2-3-2-3	予備実験結果	19
2-3-2-4	プレス仕上げ加工パンチへの成膜	20
2-3-3	まとめと今後の課題	20
第3章	総括	21

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)実施計画の細目(手法・手段・研究場所等)

1)研究の目的

発光ダイオード LED (Light Emitting Diode) は、電圧を加えることで発光する半導体素子である。この LED による照明は、白熱電球に比べ消費電力が少なく長寿命で、蛍光灯や水銀灯のように水銀を使用しないため環境負荷も少ない「21世紀の照明」といわれている。特に近年、道路灯・街路灯やプロジェクターなどに高輝度の LED が用いられようとしている。LED 光が白熱電球等に比べ単一指向性の高い光であることから、この性質を利用して、反射鏡(リフレクター)などを用いることにより、必要な範囲だけに均一に集光させて照射効率を上げるように工夫されている。

しかし、高輝度 LED は大電流を流すと非常に明るい光を発するが、発光する光の強さは電流量に比例するため、電流量が増えると、発熱量が増えることになり、LED 周辺の温度が高温となることから、反射鏡の放熱性が課題となっている。また、高輝度 LED 照明の反射鏡は現在プラスチック射出成形品の表面にアルミ蒸着処理したものを用いているが、反射鏡の深部への蒸着が難しく反射率が低く、高反射率が求められている。

さらに、高輝度 LED 発光時の高熱によるプラスチック劣化、屋外における紫外線によるプラスチック劣化などで低寿命となっている。また、プラスチックは熱伝導率が低く、放熱性が悪いため、熱をため込み LED 周囲温度が高温になると LED の発光効率が低下し、必要光量を得るためさらに大電流を流し、結果発熱量が増えるといった悪循環となる。

さらに、耐熱性を向上させた高級プラスチックが用いられているが、成形時の流動性が悪く表面粗が粗いため、アルミ膜蒸着の前に反射面に表面粗さの改善、および膜の密着性を確保するためアンダーコートを施したり、アルミ蒸着膜の水分劣化防止のためトップコーティングを行う、後加工など製造工程も多く、生産リードタイムも長くなるなどの課題がある。

本研究開発では、これらの課題を解決するために、熱や紫外線による劣化が無く、放熱性が高く、さらにリサイクルが簡単にできる環境にやさしい材料であるアルミニウム材を用いて、LED 照明用反射鏡を製作することにより、川下製造業の高精度、高品位、短納期化および環境配慮といったニーズに答えることで、部材加工産業に貢献する。

2)研究の概要

LED 照明用反射鏡の生産は、現在、プラスチック射出成形品の表面にアルミ蒸着処理したものを用いているが、プラスチックの劣化、放熱性、反射率などの課題がある。本研究開発では、このような問題を解決するために、非劣化、高放熱性のアルミニウム材を用いた LED 照明用反射鏡を金属プレス加工のみで作製する新規高度プレス加工技術を開発する。この新加工法はアルミニウム板からプレス据え込み、プレス仕上げ加工およびプレス打ち抜き加工を組み合わせたプレス加工のみで反射鏡本体成形と鏡面部を作り出す技術を構築することにある。

3) 実施内容

① プレス据え込み加工

(高橋金属㈱、滋賀県東北部工業技術センター)

プレス仕上げ加工は、その前の据え込み加工の履歴の影響を受ける。そこで、プレス仕上げ加工に影響を及ぼさない表面粗さを得るために、据えこみ加工の加工条件である押し出し量、サーボプレス機による多段モーション条件を検討し、最適条件を求め、プレス仕上げ加工に適用できる形状および表面粗さの確立を目指す。

② プレス仕上げ加工パンチ形状の影響

(高橋金属㈱、メグミ㈱、滋賀県東北部工業技術センター)

プレス仕上げ加工パンチの先端形状は、加工表面の凹凸を徐々に仕上げていくための形状が必要である。また、先端の押しつけ量は多くなると表面粗さが向上するが多すぎると加工部の塑性変形限界を超え表面剥離が起こる。さらに、塑性変形部の凝着といった課題も生じることから、プレス仕上げ加工パンチの表面状態、先端形状を検討し最適形状を求め、プレス仕上げ加工表面の鏡面表面粗さを目指す。なお、表面粗さの測定は、測定対象がアルミで、鏡面状態であるため非接触表面粗さ測定機で測定する。

③ 押しつけ量、加工速度および加工時間の影響

(高橋金属㈱、メグミ㈱、滋賀県東北部工業技術センター)

プレス仕上げ加工パンチの押しつけ量による影響を調べるとともにシミュレーション等による理論解析を行い、プレス仕上げ加工金型等の最適形状を求める。また、押し付け時の発熱による凝着、剥がれを起こさない加工速度や加工時間と鏡面度合いの関係を求め、最適条件を求める。表面粗さの評価は非接触表面粗さ測定機で行う。また、試作品については光学設計に基づく照明分布等の性能評価を行うとともに、切削加工品との性能比較を行うことによりプレス仕上げ加工の確立を目指す。

④ プレス仕上げ加工パンチ面の低摩擦化

(高橋金属㈱、神港精機㈱、滋賀県東北部工業技術センター)

プレス仕上げ加工において大きな押し込み力を生み出すためプレス仕上げ加工パンチ面の摩擦係数をできるだけ低くする必要があり、プレス仕上げ加工パンチの表面への低摩擦 c-BN コーティングが有効と考えられる。しかし、いままでプレス仕上げ加工パンチに c-BN コーティングを適用したことがなく、剥離試験、硬度試験等を実施し、コーティング条件の選定を行い、摩擦係数 μ 0.20 以下を目指す。

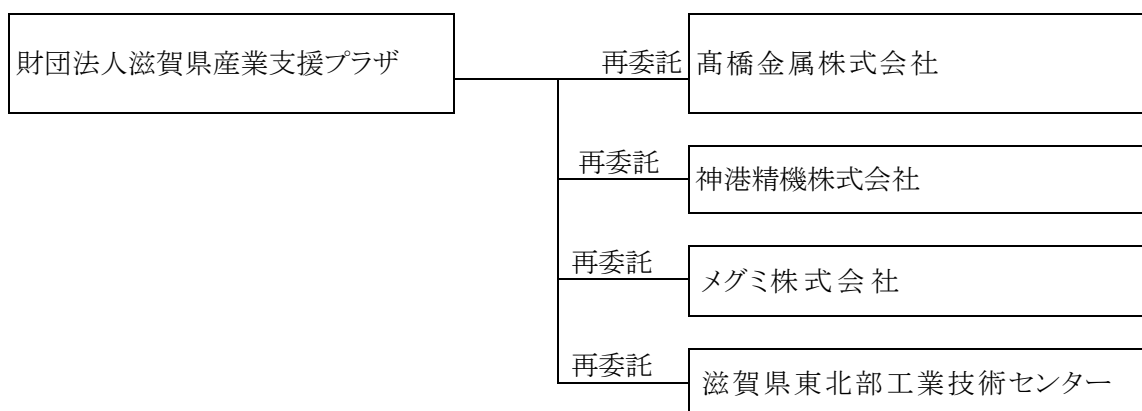
⑤ プロジェクトの管理・運営(財団法人滋賀県産業支援プラザ)

本プロジェクト事業が適切かつ効果的に運営され、所期の目的が達成されると共に大きな成果が得られるよう、また、適切な経費の執行がなされるようプロジェクトの運営・管理を実施する。

1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織(全体)



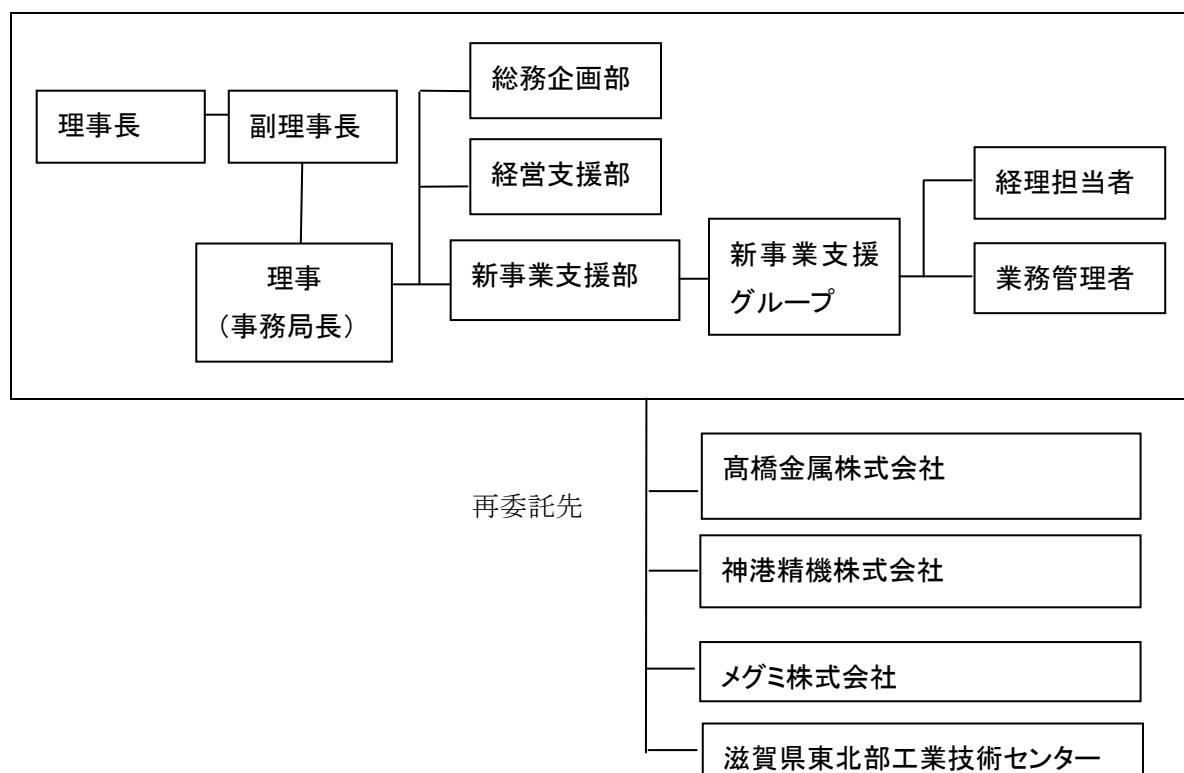
総括研究代表者(PL)
 所属:高橋金属株式会社
 役職:商品企画部 参事
 氏名:河村 安太郎

副総括研究代表者(SL)
 所属:滋賀県東北部工業技術センター
 役職:機械・金属材料担当 主任技師
 氏名:今田 琢巳

2) 管理体制

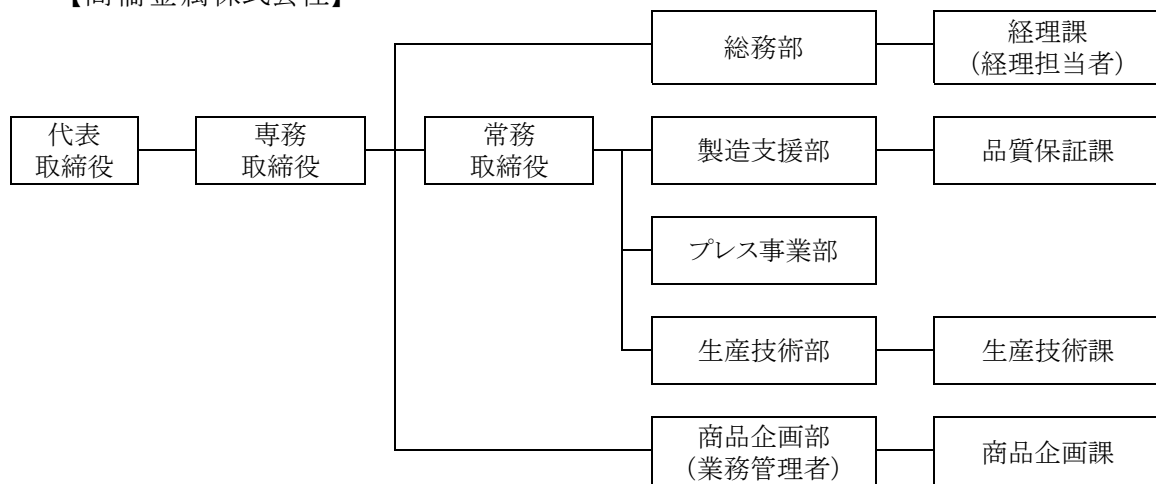
①事業管理者

【財団法人滋賀県産業支援プラザ】

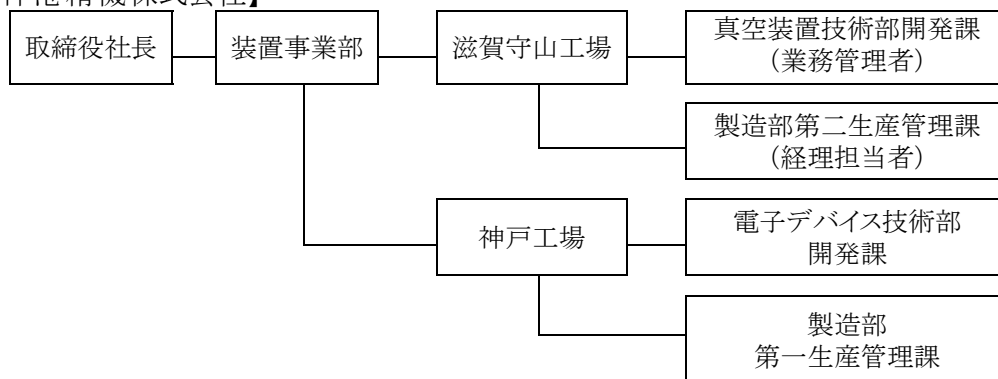


②(再委託先)

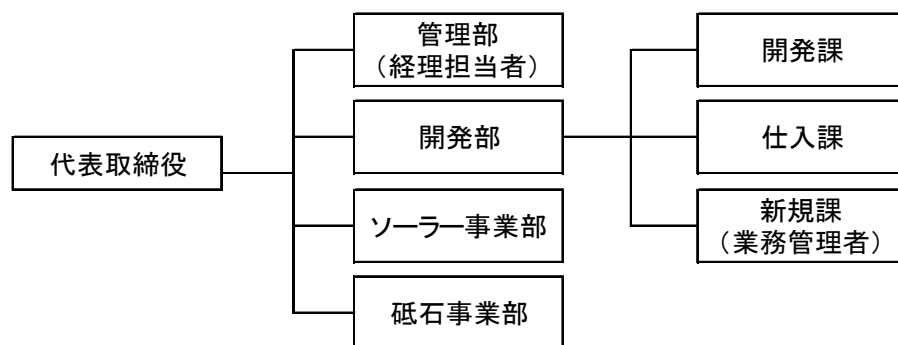
【高橋金属株式会社】



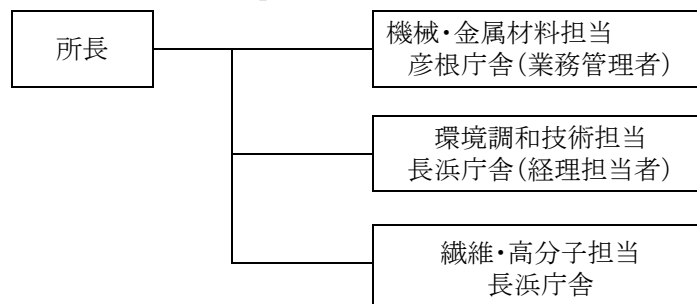
【神港精機株式会社】



【メグミ株式会社】



【滋賀県東北部工業技術センター】



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人滋賀県産業支援プラザ

① 管理員(プロジェクト管理員)

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
西尾 隆臣	新事業支援部新事業支援グループ 主幹	⑤
菊地 秀一	新事業支援部新事業支援グループ 研究開発コーディネータ	⑤

【再委託先】

高橋金属株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
西村 清司	商品企画部 部長	①、②、③、④
村田 猛	商品企画部 技師	①、②、③
河村 安太郎	商品企画課 参事	①、②、③、④
中村 喜昭	商品企画課 主任	①、②、③、④
藤谷 憲治	生産技術課 課長	①、②、③、④
南部 宗五	生産技術課 主任	①、②、③
世継 武志	プレス事業部 班長	①、②、③、④
三橋 順	品質保証課 主任	①、②、③

神港精機株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
野間 正男	装置事業部真空装置技術部開発課 主任	④

メグミ株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
麻生 幸司	開発部新規課 課長代理	②、③
山口 英樹	開発部新規課 課員	②、③
勝部 明男	開発部 部長	②、③

滋賀県東北部工業技術センター

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
所 敏夫	機械・金属材料担当 専門員	④
今道 高志	機械・金属材料担当 主任主査	①、②、③、④
今田 琢巳	機械・金属材料担当 主任技師	①、②、③、④

(3) 他からの指導・協力者名及び指導協力事項

①推進委員会

氏 名	所属・役職	備考
河村安太郎	高橋金属株式会社 商品企画部・参事	PL
今田 琢巳	滋賀県東北部工業技術センター 機械・金属材料担当 主任技師	SL
西村 清司	高橋金属株式会社 商品企画部・部長	
村田 猛	高橋金属株式会社 商品企画部 商品企画課・技師	
中村 喜昭	高橋金属株式会社 商品企画部 商品企画課・主任	
藤谷 憲治	高橋金属株式会社 生産技術部 生産技術課・課長	
南部 宗五	高橋金属株式会社 生産技術部 生産技術課・主任	
世継 武志	高橋金属株式会社 プレス事業部・班長	
三橋 順	高橋金属株式会社 製造支援部 品質保証課	
野間 正男	神港精機株式会社 装置事業部 真空装置技術部 開発課・主任	
麻生 幸司	メグミ株式会社 開発部新規課 課長代理	
所 敏夫	滋賀県東北部工業技術センター 機械・金属材料担当 専門員	
今道 高志	滋賀県東北部工業技術センター 機械・金属材料担当 主任主査	
山口 克彦	国立大学法人京都工芸繊維大学 名誉教授	アドバイザー
堀岡 義彦	株式会社ワイ.イー.ブイ 代表取締役	アドバイザー
下司 辰郎	株式会社 TKX 研究開発本部ミラー担当 課長	アドバイザー

②指導・協力事項

氏名	指導・協力事項
山口 克彦	プレス技術における塑性加工全般の技術動向についてのアドバイスを 受ける。主に①②項について。
堀岡 義彦	LED 照明の市場および技術動向についての情報提供を受ける。 主に②、③項について。
下司 辰郎	材料の鏡面加工技術に関するアドバイスを受ける。 主に②、③項について。

1-3 成果概要

各サブテーマにおいて以下の成果を得た。

①プレス据え込み加工

プレス仕上げ加工は、その前の据え込み加工の履歴の影響を受ける。そこで、プレス仕上げ加工に影響を及ぼさない表面粗さを得るために、据えこみ加工の加工条件である押し出し量、サーボプレス機による多段モーション条件を検討し、最適条件を求め、プレス仕上げ加工に適用できる形状および表面粗さの確立を目指した。その結果、サーボプレスモーションにより、アルミニウムを効率よく変形させる最適条件を見だし、目標の表面粗さを達成した。

②プレス仕上げ加工パンチ形状の影響

プレス仕上げ加工パンチの先端形状は、加工表面の凹凸を徐々に仕上げていくための形状が必要である。また、先端の押しつけ量は多くなると表面粗さが向上するが多すぎると加工部の塑性変形限界を超え表面剥離が起こる。さらに、塑性変形部の凝着といった課題も生じることから、プレス仕上げ加工パンチの表面状態、先端形状を検討し最適形状を求め、プレス仕上げ加工表面の鏡面表面粗さを目指した。なお、表面粗さの測定は、測定対象がアルミで、鏡面状態であるため非接触表面粗さ測定機で測定した。その結果、アルミニウム表面がパンチ表面の粗さが影響することが明らかになった。また表面粗さが小さくなることが確認でき、表面の凹凸を仕上げていくことは明らかとなった。さらに、一部ではあるが目標値を達成した。

③押しつけ量、加工速度および加工時間の影響

プレス仕上げ加工パンチの押しつけ量による影響を調べるとともにシミュレーション等による理論解析を行い、最適形状を求めた。また、押し付け時の発熱による凝着、剥がれを起こさない加工速度や加工時間と鏡面度合いの関係を求め、最適条件を求めた。表面粗さの評価は非接触表面粗さ測定機で行った。その結果、シミュレーション等により解析を実施し、押し付け量、加工速度等を変化させプレス仕上げ加工条件を見いだした。

④プレス仕上げ加工パンチ面の低摩擦化

プレス仕上げ加工において大きな押し込み力を生み出すためプレス仕上げ加工パンチ面の摩擦係数をできるだけ低くする必要があり、プレス仕上げ加工パンチの表面への低摩擦 c-BN コーティングが有効と考えられる。しかし、いままでプレス仕上げ加工パンチに c-BN コーティングを適応したことがなく、剥離試験、硬度試験等を実施し、コーティング条件の選定を行い、摩擦係数 μ 0.20 以下を目指した。その結果、プレス仕上げ加工条件と同条件になるように摩擦・磨耗実験を選定し、条件を変化させた c-BN コーティング膜で行い、最適なコーティング条件を見だし、目標値を大きく下回る摩擦係数を達成した。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人滋賀県産業支援プラザ 新事業支援部新事業支援グループ

〒520-0806

大津市打出浜 2-1 コラボしが 21

TEL : 077-511-1414、FAX : 077-511-1418

第2章 本 論

2-1 プレス据え込み加工

2-1-1 実施概要

プレス仕上げ加工は、その前の据え込み加工の履歴の影響を受ける。そこで、プレス仕上げ加工に影響を及ぼさない表面粗さを得るために、据えこみ加工の加工条件である押し出し量、サーボプレス機による多段モーション条件を検討し、最適条件を求め、プレス仕上げ加工に適用できる形状および表面粗さ $Ra0.3\mu m$ 以下の確立を目指す。

2-1-2 実施内容

2-1-2-1 据え込み加工によるアルミ加工(その 1)

i) リフレクターの素材形状

加工前形状は外径および内径を目標形状と同じとし、体積を目標形状より少し大きくした。

素材製作の工程は第 1 で外形抜き、第 2 で穴抜きの 2 工程とし、両工程の抜きのクリアランスは精密せん断に用いる値とした。

上記の方法で打ち抜いた素材は、内径、外形の側面に破断面があり二次せん断も見られ、また抜きダレがあり、全せん断面は確保できていない。

この破断面がどれだけの影響を与えるかも見るため、この素材形状のアルミニウム材を用いて、据え込み加工を実施した。

ii) 破断面を持つ素材による据え込み加工

加工条件としては最大加工容量 150ton のプレス機を用いて、油膜切れを小さくできる粘度の高い精密打ち抜き潤滑油を塗布して加工した。

この方法により据え込み加工を実施した結果、上方向に材料の伸びが見られたが、ダイスの穴にも材料が落ち込む現象がみられた。中央部には上記の破断面の跡も見られた。中央部の表面粗さ $Ra1.0\mu m$ であった。

落ち込んだ原因として、素材の内径穴が押し広げられ、材料の逃げ場としてダイス穴部に落ち込んだものと推測できる。なお、上方向への材料の伸びは、設計どおり材料の逃げ場を求めて上方向に流れたものである。しかし、予想しなかったダイス穴部へ材料が落ちこむことによって、製品の体積が小さくなり、所望の形状ができないことにつながった。

破断面の残りはとくに中央部に観られるが、この位置での材料の流動が少ないため破断面がそのまま残っていると推測される。したがって、前工程の打ち抜き加工時の内径穴を全せん断加工する必要があることがわかる。

iii) 破断面素材のガイド付きパンチによる材料の流れおよび表面粗さ

上記の改善策として、パンチに下穴ガイドを設け、材料が流動する前に穴をふさぎ、落ち込みを防止する構造にした。それによる、材料の流れ込みと、表面粗さ、体積の変化を明らかにするために、加工実験を行った。

その結果、パンチのガイドによって材料の落ち込みは無くなった、また下穴抜きでの破断面の跡が先と同程度観察できた。内面の表面粗さは $Ra1.0\mu m$ で、上述と変わらなかった。

下穴ガイド付きのパンチにすることで、材料が拘束され、前述の材料の落ち込みが無くなり、製品上部への伸びにつながり、上部の形状がはっきりと現れたものと推測できる。

また、破断面の跡についても、前回と同様に、材料が拘束され流動していないために破断面が残ると考えられる。

iv) 穴内面全せん断品の据え込み加工

以上のことから、素材形状の内径側面の表面粗さが後工程に大きく影響を受けることから下穴抜き金型の構造を穴抜きクリアランスを最小に、パンチ R およびダイス R を設けて、下穴抜きを実施した。この方法により、下穴抜きを実施した結果、内・外形側面が全せん断加工されており、表面粗さ $Ra0.09 \mu m$ で加工できた。

この全せん断加工品を用いて、金型で据え込み加工を実施した結果、表面粗さ $Ra0.43 \mu m$ が得られており、改善されていることがわかる。

2-1-2-2 据え込み加工によるアルミ加工(その2)

i) 実験方法

i-1) 据え込み加工の工程設計

工程設計に当たっては、上記の加工課題を踏まえて、3工程とした。まず、第1工程目で大幅な材料流動をさせる目的と大まかな形状を成形するために、テーパ形状の成形パンチで後方押出し工法とした。第2工程目では、成形パンチは第1工程目と同様にテーパ形状とし、圧縮を行い中仕上げ成形とした。最後の第3工程目では、仕上げ成形として楕円球面形状を成形し、加圧力を上げて圧縮した。

i-2) 金型設計

金型設計に当たっては、第1・2工程の金型構造は同等としパンチとダイをイレコ方式とし、後に変更が可能な様に設計した。第3工程目については圧縮力が大きくなる様に工程設計を行ったため、金型強度を上げた。また、パンチ&ダイはラッピング処理を行った。

i-3) 実験方法

本実験を行なう上で、導入した 80tサーボプレス機を図 2-1-1 に示す。

サーボプレス機の特徴であるサーボモーションの中から、ソフトモーションとパルスモーション、さらに通常のクランクモーションを合わせた3種類のモーションを用いてモーションによる表面粗さへの影響を分析するために比較実験を行なった。



図 2-1-1 80ton サーボプレス機

さらに上記のモーション3種類と、3工程成形・1工程成形の2種類の成形工程数を掛け合わせた比較実験を行なった。

測定機に関しては、導入した非接触3次元粗さ測定機を用いて評価した。

ii) 実験結果

先の3種類のサーボモーションを用いて、3工程成形を行なった。目標の表面粗さは、ソフトモーションとパルスモーションでは達成出来た。また、クランクモーションでは達成できなかった。

なお、3工程目の金型を使い1工程成形を行なったところ、全てのモーションで目標の表面粗さを達成出来た。

2-1-3 まとめと今後の課題

3種類のモーションと2種類の成形工程数の比較実験より、目標の表面粗さ大幅に達成出来た。その中で、1工程成形のソフトモーションが最も良い結果となった。

2-2 プレス仕上げ加工パンチの形状、押しつけ量、加工速度および加工時間の影響

2-2-1 実施概要

プレス仕上げ加工パンチの先端形状は、加工表面の凹凸を徐々に仕上げていくための形状が必要である。また、先端の押しつけ量は多くなると表面粗さが向上するが多すぎると加工部の塑性変形限界を超え表面剥離が起こる。さらに、塑性変形部の凝着といった課題も生じることから、プレス仕上げ加工パンチの表面状態、先端形状を検討し最適形状を求め、プレス仕上げ加工表面の鏡面表面粗さを目指す。

具体的にはプレス仕上げ加工パンチの押しつけ量による影響を調べるとともにシミュレーション等による理論解析を行い、プレス仕上げ加工金型等の最適形状を求める。また、押し付け時の発熱による凝着、剥がれを起こさない加工速度や加工時間と鏡面度合いの関係を求め、最適条件を求める。表面粗さの評価は非接触表面粗さ測定機で行う。また、試作品については光学設計に基づく照明分布等の性能評価を行うとともに、切削加工品との性能比較を行うことによりプレス仕上げ加工の確立を目指す。

2-2-2 実験内容

2-2-2-1 プレス仕上げ加工金型

本実験において用いたプレス仕上げ加工金型のスペックは、押付け力で、押付け力の調整はバネの圧縮量で調整を行う。また、プレス仕上げ加工パンチは簡易的に交換が可能な作りとなっている。

2-2-2-2 プレス仕上げ加工パンチ形状

プレス仕上げ加工を行なう上で、最も重要となってくる要素の一つがプレス仕上げ加工パンチの形状である。形状の異なるプレス仕上げ加工パンチ A とプレス仕上げ加工パンチ B を製作した。

プレス仕上げ加工パンチに特性の異なる表面処理を4種類施した。またラップ処理のみをパンチ比較のため用意した。

全てのプレス仕上げ加工パンチへ表面粗さが同等のラップ処理を行い、その後、表面処理を施した。

2-2-3 実験方法

プレス仕上げ加工パンチ A を用いて、プレス仕上げ加工を行なう上で、基本条件となる加工時間の、大まかな傾向を掴み、加工時間の与える影響を分析した。加工時間の長短による仕上げ面粗さへの影響を比較した。

パンチの表面粗さや摩擦係数の違いによって、仕上げ面粗さにどのような影響を及ぼすのかを検証するため、5 種類のコーティング比較実験を行った。

2-2-4 結果と考察

全ての加工時間でプレス仕上げ加工による効果は見られた。加工時間としては数秒程度が

妥当であり、それ以上の長時間加工は、表面粗さ低下するので避けなければならない。

TiC を除く全てのコーティングで、プレス仕上げ加工による効果は見られた。

プレス仕上げ加工パンチの形状による影響は、プレス仕上げ加工パンチ A よりもプレス仕上げ加工パンチ B の方がプレス仕上げ加工の効果は大きく、一部分であるが、目標の鏡面表面粗さを達成出来た。

2-2-5 プレス加工品の評価方法

2-2-5-1 非接触表面粗さ測定機

据え込みプレス加工品やプレス仕上げ加工プレス加工品の表面粗さの測定には、非接触三次元表面粗さ測定機を用いて評価した。該測定機の外観写真を図 2-2-1 に、その主な仕様を表 2-2-1 に示す。

該測定機の原理を、以下、に説明する。緑色 LED 光を光源とし、干渉計対物レンズ内のビームスプリッタで測定面と参照ミラー面の2方向に光を照射する。測定面からの反射光と参照ミラー面からの反射光とが再結合し、干渉計対物レンズを垂直走査させながら、干渉強度が最大となる位置(等光路位置)を測定することで、測定面の高さ情報を得る。

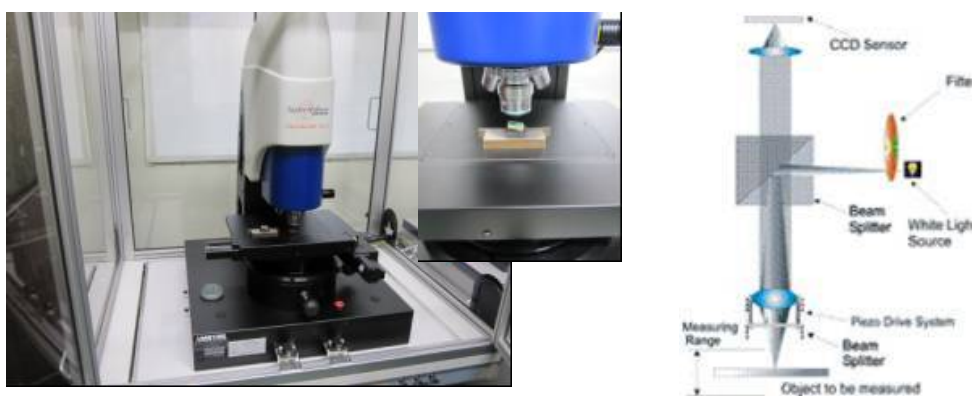


図 2-2-1 非接触三次元表面粗さ測定機および原理図

表 2-2-1 非接触三次元表面粗さ測定機の主な仕様

メーカー名	アメテック(株)テラホブソン事業部
製品名	タリサーフCCI Lite
光源	緑色 LED 光
測定方式	光干渉方式
垂直方向分解能	0.01nm
水平方向分解能	0.36 μ m
対物レンズ * () 内は測定範囲	10 倍 (1.65mm $\times$ 1.65mm) 20 倍 (0.825mm $\times$ 0.825mm) 50 倍 (0.33mm $\times$ 0.33mm)
測定ポイント	1024 $\times$ 1024

2-2-5-2 表面粗さ評価方法および解析方法

表面粗さの測定は、測定分解能および測定範囲、測定角度の点から、対物レンズには 20 倍レンズを選択した。鏡面ミラーの加工品およびプレス仕上げ加工パンチの表面粗さ測定は、底面から 2mm、7mm、12mm の位置で測定した。また、プレス仕上げ加工パンチについては、パンチ先端部から 8mm、13mm、18mm の位置を測定した。得られた測定結果は、解析ソフト (Talymap Gold) を用いて、下記の各種フィルター処理を実施し、表面粗さを解析した。一連の解析の流れは下記の通りである。

＜評価・解析の流れ＞

3次元データの取得 → 形状除去(5次) → しきい値設定 → 粗さ評価

2-2-5-3 粗さパラメータ

測定に用いた粗さパラメータを下記に示す。

①粗さ曲線

Ra: 算術平均粗さ(ガウシアンフィルター有り、カットオフ 0.08mm)

Rz: 最大高さ(ガウシアンフィルター有り、カットオフ 0.08mm)

②断面曲線

Pa: 算術平均粗さ(フィルター無し)

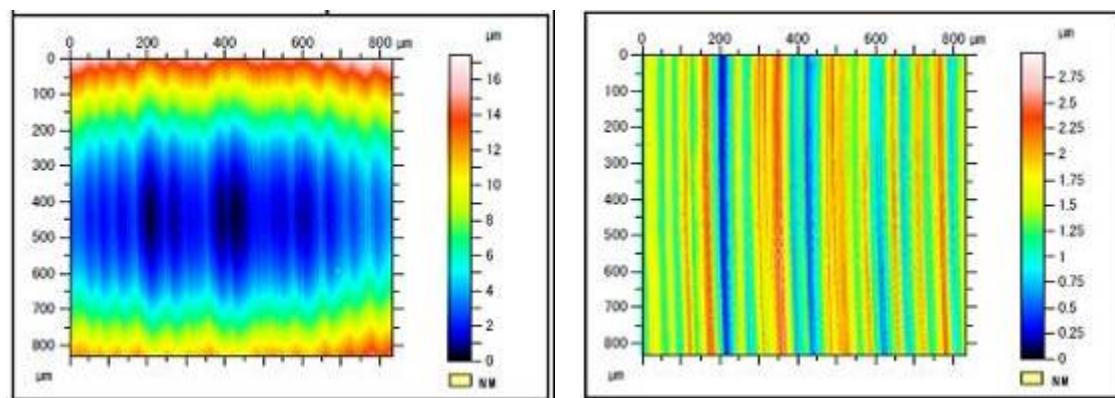
Pz: 最大高さ(フィルター無し)

③面

Sa: 算術平均粗さ(フィルター無し、面測定)

Sz: 最大高さ(フィルター無し、面測定)

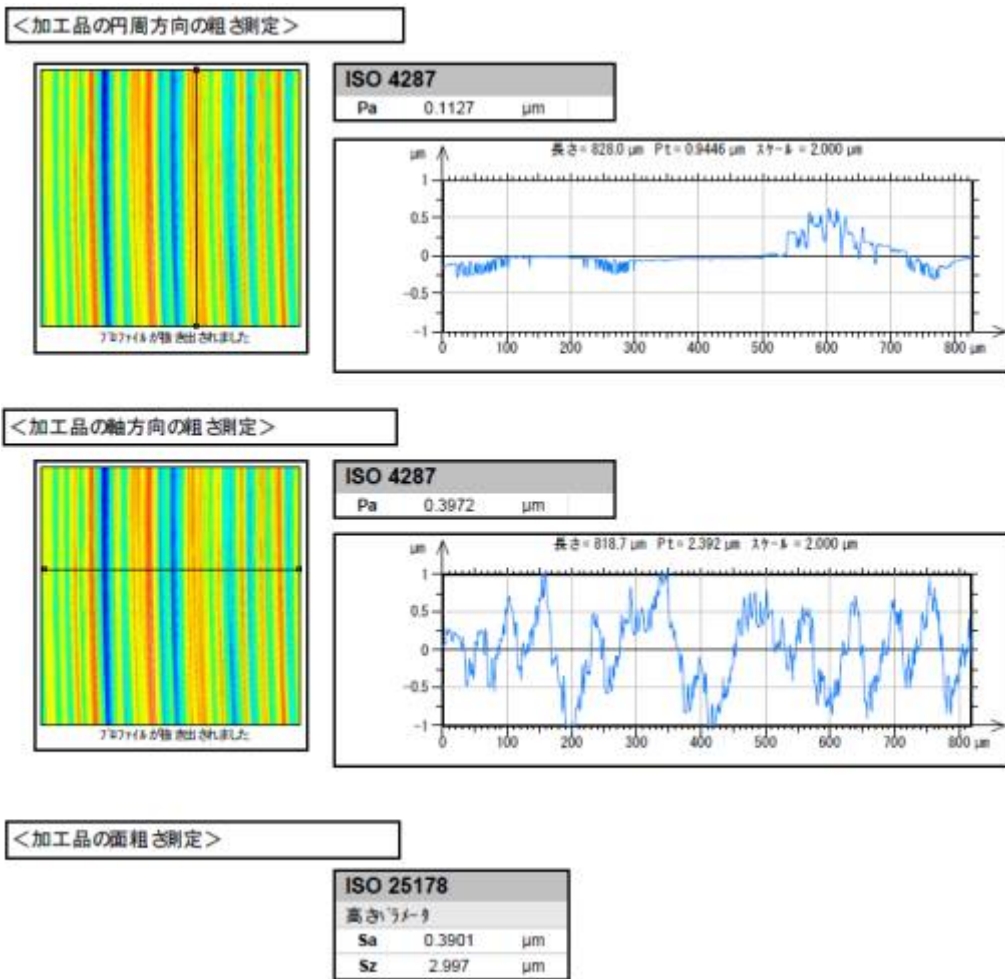
研究実施計画書の粗さの目標値は、粗さ曲線から求めた算術平均高さ Ra で設定していた。非接触粗さ測定機で対物レンズ 20 倍を用いた場合、測定範囲が約 0.8mm と非常に短いため、ガウシアンフィルターにより断面曲線からうねり成分と粗さ成分に分離できず、Ra を精度良く求めることができなかった。また、ライン計測では、測定箇所により大きくばらつきが見られた。そこで、本研究では、測定で得られた断面曲線(ガウシアンフィルター無し)を評価曲線とし、測定面(0.825mm×0.825mm)における算術平均粗さ Sa で評価を実施することとした。尚、必要に応じ、測定面の最大高さ Sz でも評価している。プレス加工品の測定結果の一例を図 2-2-2 に示す。



(a) 測定結果

(b) 形状除去+しきい設定後の解析結果

図 2-2-2 プレス仕上げ加工品の粗さ測定結果の一例(N=800min-1、f=980N、t=5s)



(c) プロファイル曲線の作成および粗さ測定結果

図 2-2-2 プレス仕上げ加工品の粗さ測定結果の一例

2-2-5-4 プレス仕上げ加工パンチ

i) 各種コーティング処理後におけるプレス仕上げ加工パンチ表面粗さ

各種コーティングを施したプレス仕上げ加工パンチのコーティング後およびプレス仕上げ加工後の表面粗さ測定結果は、ノンコート品の表面粗さに対し、DLC が最も平滑性が良く、良好であった。一方、cBN の面粗さは DLC に比べ若干悪いが、ほぼ同レベルであった。TiC コーティングは凹み部が膜表面に見られ、最も粗い結果であった。プレス仕上げ加工処理では、パンチ表面の表面状態が転写されるため、パンチ表面の平滑性も重要なパラメータであり、表面粗さの観点からは、DLC および cBN コーティング膜に適性が見られた。

ii) プレス仕上げ加工後のプレス仕上げ加工パンチの表面粗さ

プレス仕上げ加工後のパンチ表面粗さは、いずれのパンチもプレス仕上げ加工後において、表面粗さの悪化は見られなかった。

プレス仕上げ加工後のパンチ表面をエネルギー分散型分析装置付き走査型電子顕微鏡にて、パンチ表面の SEM 観察および成分分析を行った結果、パンチ表面の全面に渡るようなアルミの凝

着は見られなかった。

2-2-6 リフレクターの光学評価

2-2-6-1 LED リフレクター形状の光学設計

LED 照明用途(街路灯・スポットライト・ブラケットライト等)として配光特性、照明器具との組み合わせを考え、2 種類のリフレクター形状を設計した。設計形状は楕円 2.5 度 LED ミラー形状、設計形状 2 は楕円 30 度 LED ミラー形状である。

2-2-6-2 比較製品としての切削加工によるリフレクターの鏡面部分の加工

荒機械加工品の楕円形状部分の鏡面加工を精密 NC 旋盤(図 2-2-3)にて単結晶ダイヤモンドバイトを使用し、形状測定用を含め 10 個の製作を実施した。まず、1 個製作後設計通りの形状になっているか確認のため、3次元測定機により形状確認を行い、その結果を基に 2 個目以降修正を行い残り 9 個の製作を実施。また、図 2-2-4 に示すように表面粗さ Sa は $0.015\mu\text{m}$ である。

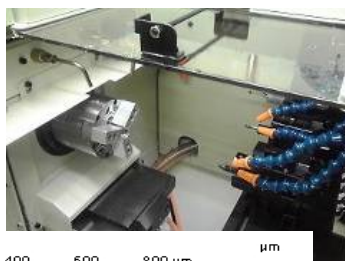


図 2-2-3 精密 NC 旋盤

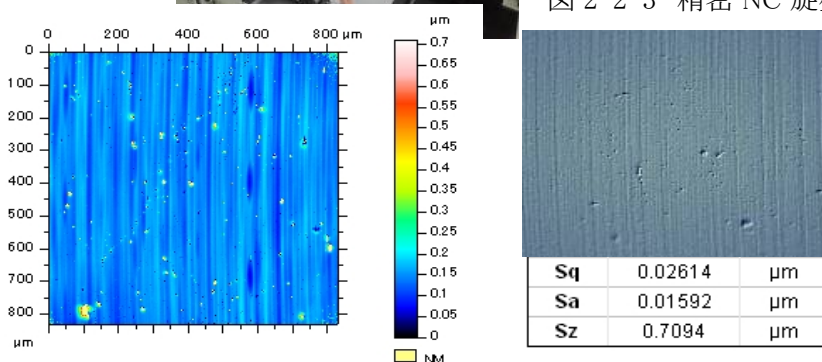


図 2-2-4 アルミ切削品の非接触3次元表面粗さ測定結果例

2-2-6-3 光学特性評価

高精度の切削品を基準に、研究開発中のプレス加工品の性能を比較評価するために、下記測定条件で照度分布測定を実施した。

〔測定条件〕・測定器： コニカミノルタ 照度計 T-10

・測定環境： 室温 23℃、照射距離： 460mm、LED 電流： 350mA

・測定箇所： (横方向)中心部より左右 250mm を 25mm 間隔で測定
(縦方向)中心部より上下 250mm を 25mm 間隔で測定

〔測定結果〕

測定したものは、照度分布写真と横断面の照度分布、同心円上に照射された光を積算した照度分布および半径 250mm 内に照射された光量(照度)の合計である。

照度分布測定グラフを見ると、切削品は照度のピークが 12910 ルクスに対し、プレス品は 12990 ルクスと同等だが、横方向 50mm の位置では切削品が 5520 ルクスに対しプレス品 A-1 は 3360 ル

クスと 61%程になっている。これは積算照度を見ると中心から離れた同心円上の光が強くなっており、光が分散しているためである。また照度合計が 167,000 に対して 149,000 と11%ほど少なくなっているが、この分はさらに外側に分散しているものとする。

研究開発中のプレス品は切削品に比べてまだまだ表面粗さが悪いが、これが性能の差となって、上記データの差となっていると考えられる。照度分布のピーク値や積算照度及び照度合計などの比較によりプレス品の評価が出来ることが判った。

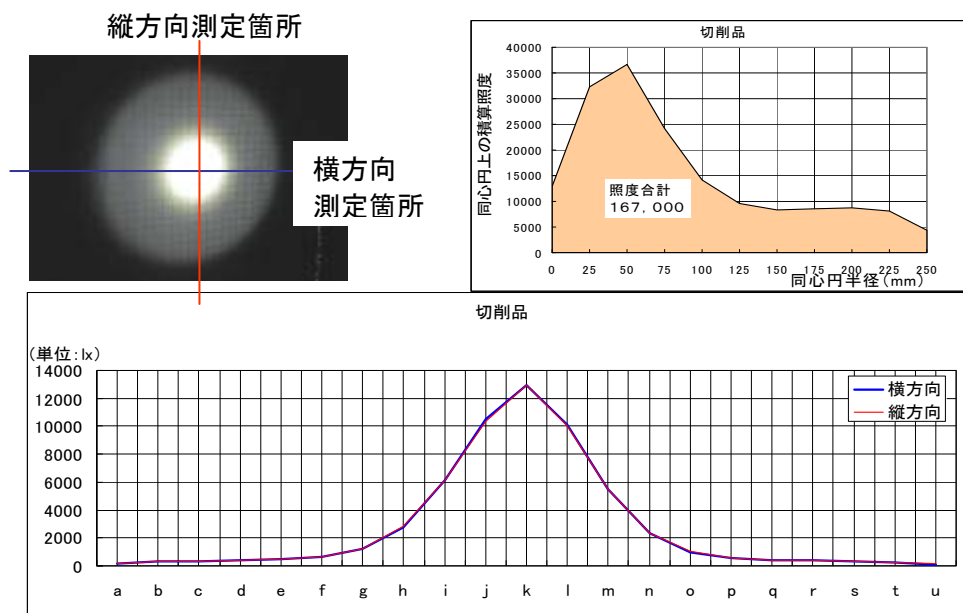


図 2-2-5 切削品の照度測

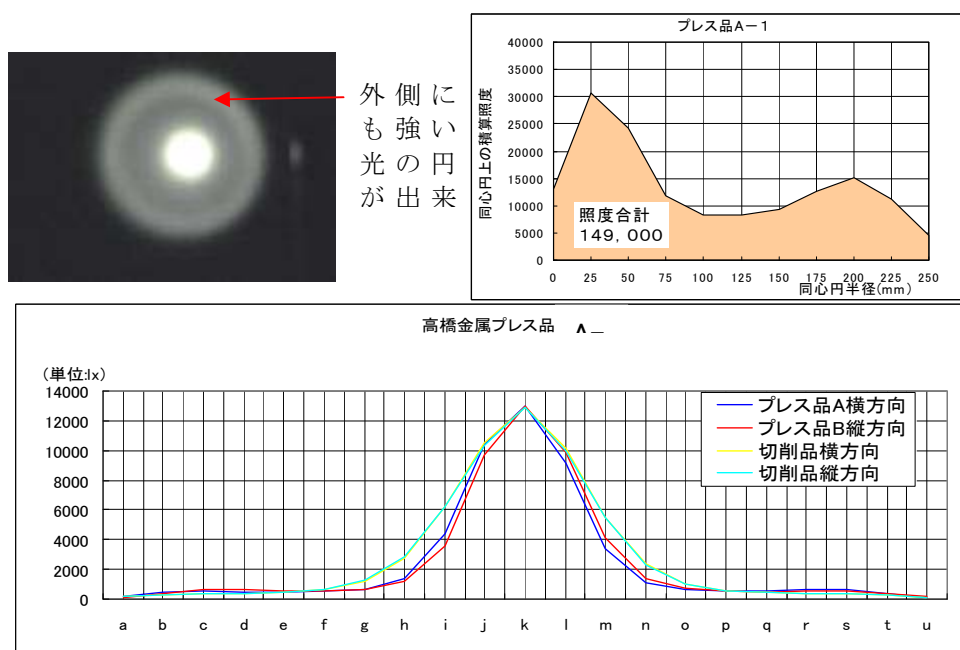


図 2-2-6 プレス品 A-1 の照度測定

2-2-7 まとめと今後の課題

プレス仕上げ加工パンチ A ではプレス仕上げ加工効果はあった。プレス仕上げ加工パンチ B においては、一部分ではあるが目標の鏡面表面粗さを達成出来た。

2-3 プレス仕上げ加工パンチ面の低摩擦化

2-3-1 実施概要

プレス仕上げ加工において大きな押し込み力を生み出すためプレス仕上げ加工パンチ面の摩擦係数をできるだけ低くする必要があり、プレス仕上げ加工パンチの表面への低摩擦 c-BN コーティングが有効と考えられる。しかし、いまだプレス仕上げ加工パンチに c-BN コーティングを適用したことがなく、剥離試験、硬度試験等を実施し、コーティング条件の選定を行い、純 Al 材に対する摩擦係数 μ 0.20 以下を目指す。

2-3-2 実施内容

2-3-2-1 実験装置

c-BN コートは、神港精機(株)製 AIH-16110SB c-BN コート仕様を用いた。図 2-3-1 および図 2-3-2 に概観写真および原理図を示す。

2-3-2-2 実験方法

図 2-3-1 の装置内の基板取り付け台車に成膜基板を取り付けた。試料は、すべて 1 面が鏡面研磨されたものを使用した。仕様した試料サイズは、a)超硬テストピース 1 19×19×4.5mm、b)超硬テストピース 2 25×20×6mm(5 角形 先端角 80°)、c)SKD11 テストピース



図 2-3-1 AIH-16110SB c-BN 装置
(イオン化方式 磁界励起型
イオンプレーティング方式)

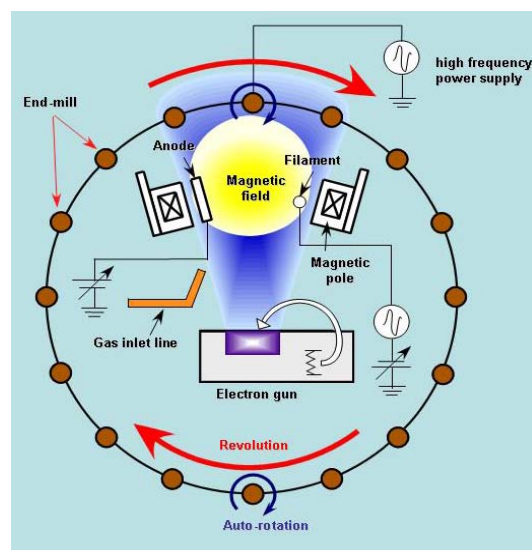


図 2-3-2 磁界励起型イオンプレーティング
装置(量産タイプ)概略

19×19×5mm、d)SKH51 テストピース 19×19×5mm、e)Si ウェハ 60×20×0.6mm である。成膜する c-BN 膜の膜構造は、母材上に TiN 膜を 1.4 μ m 成膜し、この TiN 上に c-BN 膜を 1.5 μ m 成膜する。

本実験の目的は、Al 材 A1050 に対して、摩擦係数 0.2 以下の c-BN 膜の成膜条件を調査することである。このため、2 種類の成膜条件基板電圧をパラメータとして c-BN の成膜を実施した。

◎基板バイアス変化シリーズの実験

基板電圧は-100V 以下に印加すると低摩擦係数が減少する傾向がある。この低い基板

電圧で、Al 材 A1050 に対する摩擦係数は、0.2 以下となる条件が得られる可能性がある。

◎Ar:N₂ ガス比変化シリーズの実験

c-BN 膜は、N₂ 導入量が増加すると c-BN 結合と h-BN 結合の比に変化が生じる。この時の比の変化で、摩擦係数が 0.2 以下になる成膜条件の検討を実施する。

表 2-3-1 c-BN 膜成膜条件

パラメータ	単位	薄膜の種類	
		c-BN	TiN
電子銃出力	kW	4.0	5.5
アノード	V × A	50V × 30A	48V × 70A
フィラメントバイアス(FB)	-V × A	24V × 24A	24V × 55A
ガス比 N ₂ :Ar	流量比	45,55,70,85, 100:60	180:50
基板電圧	-V	80,100, 120,150	50
基板加熱	℃	350	350
成膜時間	分	120	60

2-3-2-3 予備実験結果

プレス仕上げ加工パンチの成膜は、最小摩擦係数で実施したいので、基板電圧-120V で反応ガス比 60:60 の条件を採用した。この成膜条件と硬さ、摩擦係数、表面 SEM 写真をまとめた結果を図 2-3-3 に示す。

低摩擦係数 0.01～0.02 を示す成膜条件は、基板電圧 120V、N₂55～70mL/min であることが判った。

	N ₂ 45mL/min	N ₂ 55mL/min	N ₂ 70mL/min	N ₂ 85mL/min	N ₂ 100mL/min
80V		0.4 2650HK 摩擦係数不良NG	c-BN膜の成膜条件として設定した。 条件N ₂ 60cc → 金型に成膜した		
100V		0.3 3170HK 摩擦係数不良NG			
120V	0.4 5460HK 摩擦係数不良NG	0.02 4900HK	0.01 4090HK	0.18 470HK 耐摩耗性不足NG	0.26 290HK 耐摩耗性不足NG
150V		0.35 5100HK 摩擦係数不良NG	0.08 未測定		実験なし

図 2-3-3 c-BN 膜の摩擦係数および表面 SEM 観察結果

2-3-2-4 プレス仕上げ加工パンチへの成膜

前項の予備実験より、低摩擦を示す成膜条件は、基板電圧 120V、N₂55～70mL/min であったため、プレス仕上げ加工パンチへの成膜は、表 2-3-2 に示すように基板電圧 120V、N₂60mL/min で実施した。

表 2-3-2 プレス仕上げ加工パンチに適用した成膜条件

パラメータ	単位	薄膜の種類	
		c-BN	TiN
電子銃出力	kW	4.0	5.5
アノード	V × A	50V × 30A	48V × 70A
フィラメントパイア ス(FB)	-V × A	24V × 24A	24V × 55A
ガス比 N ₂ :Ar	流量比	60:60	180:50
基板電圧	-V	120	50
基板加熱	℃	350	350
成膜時間	分	120	60

成膜結果は、テストピースに成膜した場合と同じように問題なく成膜可能であった。c-BN を成膜後の表面粗さ(フィルター無し)Pa 30～40nm と良好であった。

2-3-3 まとめと今後の課題

Al 材 A1050 に対して摩擦係数 μ 0.2 以下を目標として、c-BN の成膜条件を 18 条件変化させて試料を作製し、膜分析をした。その結果、摩擦係数が現象する最適条件は、基板電圧-120V、反応ガス比 Ar:N₂=60:55～70 であり、この時の摩擦係数は 0.01～0.02 と非常に低い値が得られた。この条件でプレス仕上げ加工パンチに成膜を実施した。

今回の実験でさらにプレス仕上げ加工パンチの性能を向上させるための課題が見出されている。具体的には、プレス仕上げ加工を行う際に長時間パンチを使用した場合、パンチ成膜面で Al の付着が確認されている。この原因は、c-BN 膜の組成比 N/B が 1.0 よりも低く 0.6 であることが原因と考えられる。この組成比を 1.0 に近づける工夫ができれば、パンチ表面で Al が凝着する反応を防止できる可能性がある。今後は低く抑えている放電出力アノード 50V・30A を 50V・40A あるいは 50V・50A にした c-BN コートパンチにより、Al の溶着をできるだけ防止し、鏡面加工を長時間継続が可能にする課題がある。しかし、c-BN 膜がプレス加工にも有用であることは明らかである。

第3章 総 括

LED 照明用反射鏡の生産は、現在、プラスチック射出成形品の表面にアルミ蒸着処理したものをを用いているが、プラスチックの劣化、放熱性、反射率などの課題がある。

本研究開発では、このような問題を解決するために、非劣化、高放熱性のアルミニウム材を用いたLED照明用反射鏡を金属プレス加工のみで作製する新規高度プレス加工技術を開発する。この新加工法はアルミニウム板からプレス据え込み、プレス仕上げ加工およびプレス打ち抜き加工を組み合わせたプレス加工のみで反射鏡本体成形と鏡面部(表面粗さRa0.05 μ m以下)を作り出す技術を構築することにより、川下製造業の高精度、高品位、短納期化および環境配慮といったニーズに答えることで、部材加工産業に貢献する。

本年度の研究開発により得られた成果は以下のとおりである。

①プレス据え込み加工

サーボプレスモーションにより、アルミニウムを効率よく変形させる最適条件を見だし、目標の表面粗さを達成した。

②プレス仕上げ加工パンチ形状の影響

アルミニウム表面がパンチ表面の粗さが影響することが明らかになった。また表面粗さが小さくなることが確認でき、表面の凹凸を仕上げていくことは明らかとなった。さらに、一部ではあるが目標値を達成した。

③押しつけ量、加工速度および加工時間の影響

シミュレーション等により解析を実施し、押し付け量、加工速度等を変化させプレス仕上げ加工条件を見いだした。

④プレス仕上げ加工パンチ面の低摩擦化

プレス仕上げ加工条件と同条件になるように摩擦・磨耗実験を選定し、条件を変化させたc-BN コーティング膜で行い、最適なコーティング条件を見だし、目標値を大きく下回る摩擦係数を達成した。

精密三次元鏡面に資する金属プレス加工技術の開発を遂行するにあたり、プレス据え込み加工やプレス仕上げ加工やパンチ形状・表面処理等について技術構築を進めてきた。

また、加工素材について、大手アルミニウムメーカを訪問し、鏡面に適した材料についてアドバイスを受け、また鏡面リフレクターが使われるLEDについて、大手LEDメーカを訪問し、リフレクターに要求される性能についてアドバイスを受け、また従来プレス仕上げ加工技術について、プレス仕上げ加工の工具メーカを訪問し、加工条件などについてアドバイスを受け、研究開発の効率的推進を図った。

また、フェーズを合わせる為に、技術検討会を月1回のペースで開催し、研究内容や技術課題におけるアドバイスおよび新技術や知見検討を実施して次の実験や研究に反映させ解決手法や研究手法の模索や修正を随時おこなった。

また、本事業で開発したプレス機内でプレス仕上げ加工を行う装置は今までになく、装置特許の出願を行った。

以上のように、平成21年度研究開発で得られた技術構築要素を組み合わせ、実用化に向けた研究開発が可能となってきた。今後、さらなる鏡面を得る技術を構築する。