

平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業（補正予算）

「環境に配慮した離型剤不要・長寿命ダイカスト金型の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年5月（補正予算）

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 岐阜県産業経済振興センター

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	1
1-2 研究体制	3
(1) 研究組織及び管理体制	3
(2) 管理員及び研究員	5
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	6
1-3 成果概要	7
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	9

第2章 本論

① 離型剤の冷却効果の調査と適正温度範囲の探求	10
② 金型温度制御手法の確立のための基礎調査	12
③ 離型効果をもつ表面改質処理手法の開発	13
③-1 シボ加工手法の開発	13
③-2 電子ビーム加工機を用いた表面改質及び窒化処理による 複合表面処理手法の開発	13
③-3 試作金型による離型剤レス鋳造試験	16
④ 離型効果をもつ表面改質処理手法の開発	17

第3章 全体総括

3-1 全体総括	20
3-2 研究開発後の課題	21
3-3 事業化計画	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

自動車産業においては、環境対応やコストダウンへの需要が顕在化しており、各部材メーカーは、これに対応すべく消耗部材の長寿命化や副資材の削減等による徹底した経費の削減を推進することで、製品の低コスト化を図っている。

鋳造、鍛造、金属プレス等、自動車用部品も含めた各金属部材の製造において要するコストとして離型剤にかかる費用が挙げられる。水溶性離型剤は比較的lowコストであるが、高温の金型への吹きつけにより金型の急激な冷却を強いることにより金型へ熱的な負荷による溶損、熱衝撃等の発生により金型の劣化を早め、結果的に金型にかかるコストを増大させることとなる。また油性離型剤は金型への熱負荷は低減でき、比較的金型の劣化は抑制できるものの、水溶性離型剤に比べ高価であることと、悪臭や溶剤の揮発による作業環境の悪化や、成形時の高温により発生するガスによる製品品質の低下を招く恐れがある。

離型剤の使用以外で離型性を高める手法として、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）成膜を金型に施す手法がある。DLC 膜はセラミック膜の一種であり、耐摩耗性、離型性に優れている一方、熱耐性が300℃程度と低いため、ダイカスト金型への適用には金型への耐熱処理が必要となる。しかし、窒化処理や、WPC処理などの表面処理を行っても、10,000個程度の成形をしたときに成膜が劣化、剥離してしまうという欠点をもっており、定期的な再処理によるコスト増と、再処理の都度生産ライン停止が必要になることから工場の現場には普及していない。また、現在のところ、金型へのDLC成膜による離型剤レス鋳造が成功したという報告はない。

そこで、本研究では、金属部材の製造プロセスにおけるコスト抑制のため、また環境にも配慮した、離型剤を使用する必要が無い長寿命なダイカスト用金型の開発、また離型剤レスのダイカスト製造法の確立を目指す。具体的には、金型表面（キャビティ内面）に対してシボ加工、電子ビーム加工などを組み合わせた複合処理を施すことにより離型剤を必要とせず離型を可能とする金型の開発、適切な温度制御と熱疲労を軽減させる温度制御手法の開発による離型剤レスダイカスト製造法の確立を目指す。

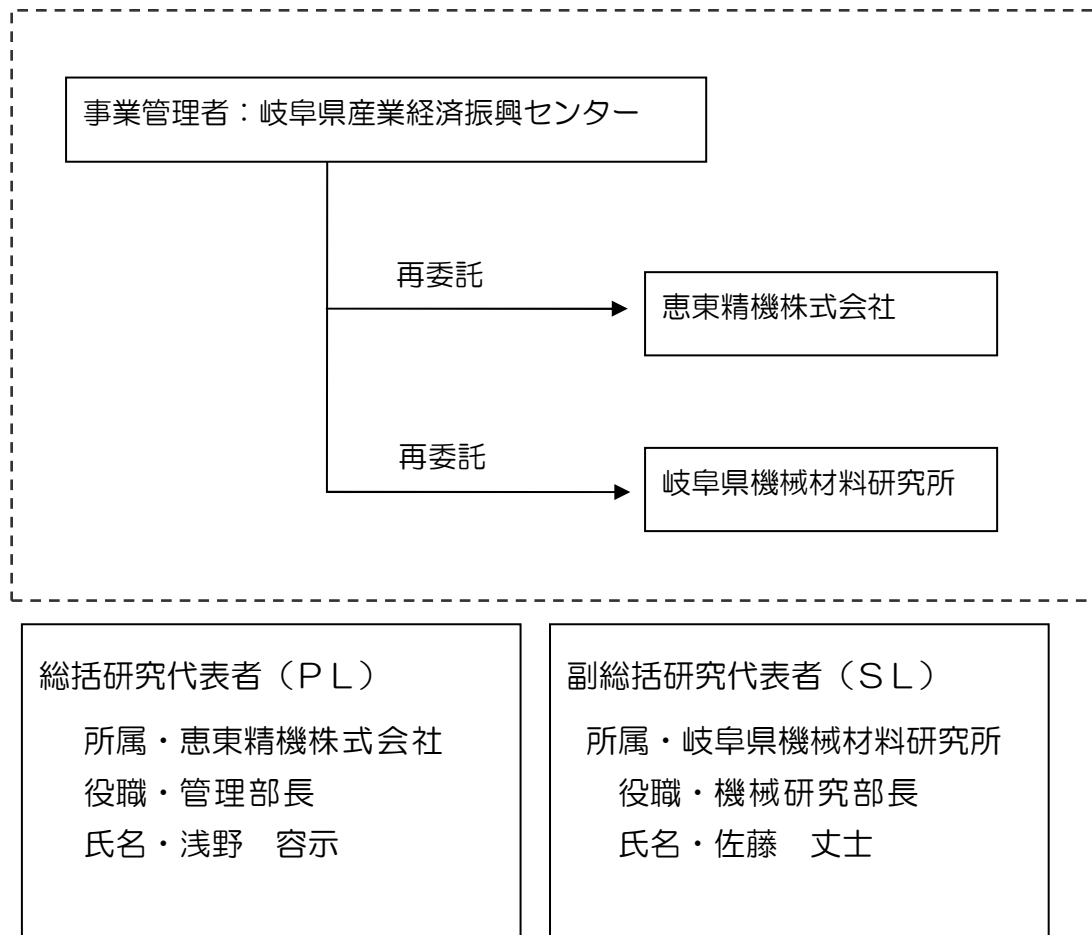
【実施項目】

- ・ 離型剤の冷却効果の調査と適正温度範囲の探求
離型剤レスとすることによって、金型の過冷却は抑制できるが、従来離型剤が担っている、次の製造を行うための準備プロセスとして必須な金型表面の冷却効果が得られなく、また逆に過熱による製品の焼き付きや、金型への熱衝撃が懸念される。そこでまず実際のダイカスト鑄造プロセスにおける離型剤の冷却効果の基礎調査を行う。
- ・ 金型温度制御手法の確立のための基礎調査
金型劣化を抑え、かつ不良品等の発生がない適正な範囲に金型温度を保つ「金型内熱媒循環方式による金型温度制御手法」の確立を目指すための基礎調査を行う。
- ・ 離型効果をもつ表面改質処理手法の開発
金型への離型効果付与をめざし、金型表面へのシボ加工（凹凸付与）手法の開発と、電子ビーム加工による表面処理および窒化処理による複合処理手法を開発する。
- ・ 離型剤レス鑄造試験
上記金型温度制御および複合処理金型を用いて実際にダイカスト鑄造試験を行い、その効果を確認する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

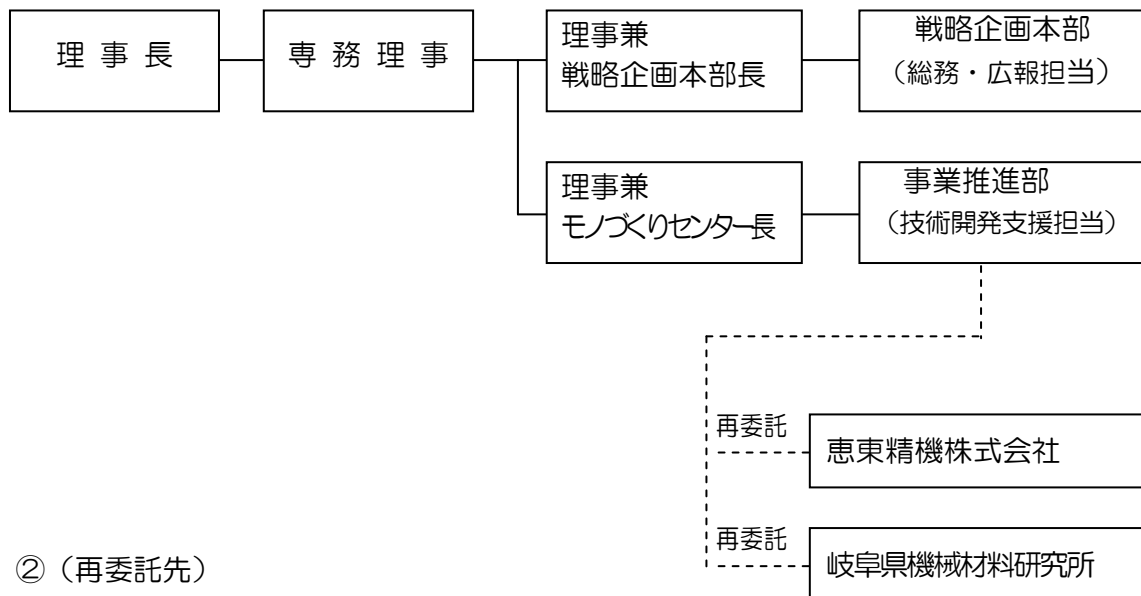
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

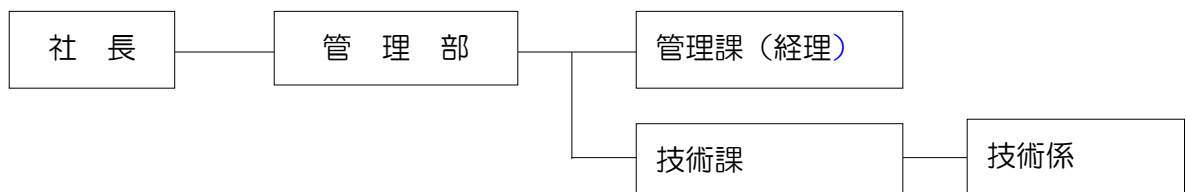
①事業管理者

財団法人岐阜県産業経済振興センター

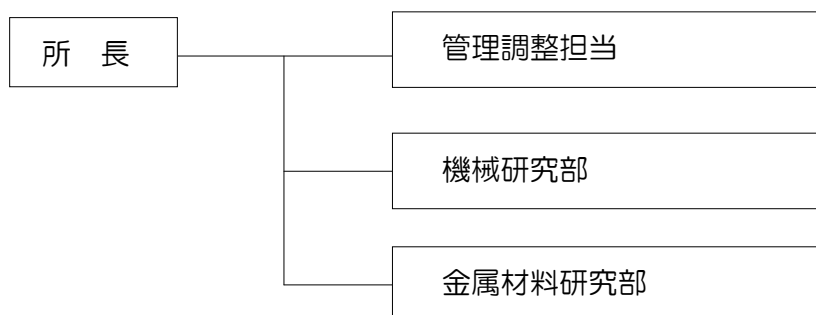


② (再委託先)

恵東精機株式会社



岐阜県機械材料研究所



(2) 管理員及び研究員

①管理員

【事業管理者】 財団法人岐阜県産業経済振興センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
砂田 博	モノづくりセンター センター長	⑤
服部 清	モノづくりセンター 事業推進部 部長	⑤
繁田 栄司	モノづくりセンター 事業推進部 参事	⑤
朝原 力	モノづくりセンター 事業推進部 主任調査役	⑤
小川 誠	モノづくりセンター 事業推進部 主査	⑤
浅井 博次	モノづくりセンター 事業推進部 主査	⑤
森岡 裕充	モノづくりセンター 事業推進部 管理員	⑤
苅谷 真男	戦略的企画本部 主任	⑤

②研究員

【再委託先】

恵東精機株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
浅野 容示	管理部 部長	① ~ ④
後藤 秀治	技術課 技術係 係長	① ~ ④
小木曾和之	技術課 技術係 主任	① ~ ④

岐阜県機械材料研究所

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
柴田 英明	所長	①-1, ②-2, ③, ④
佐藤 丈士	機械研究部 部長	①-1, ②-2, ③, ④
坂東 直行	機械研究部 主任研究員	①-1, ②-2, ③, ④
安藤 敏弘	機械研究部 主任研究員	①-1, ②-2, ③, ④
水谷 予志生	金属材料研究部 主任研究員	①-1, ②-2, ③, ④

③協力者（アドバイザー）

美濃工業株式会社 顧問

山上 隆正

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人岐阜県産業経済振興センター

(経理担当者) 戦略企画本部 主任 苅谷 真男

(業務管理者) モノづくりセンター事業推進部 主査 浅井 博次

(再委託先)

恵東精機株式会社

(経理担当者) 管理課 課長 柘植 和広

(業務管理者) 管理部 部長 浅野 容示

岐阜県機械材料研究所

(経理担当者) 管理調整担当 課長補佐 平工 吉枝

(業務管理者) 機械研究部 部長 佐藤 丈士

1-3 成果概要

本研究は、金型表面（キャビティ内面）に対してシボ加工、電子ビーム加工などを組み合わせた複合処理を施すことにより離型剤を必要とせず離型を可能とする金型の開発、適切な温度制御と熱疲労を軽減させる温度制御手法の開発による離型剤レスダイカスト製造法の確立を目指し、表面処理の方法および金型温度制御機能について検討することを目的としている。その研究開発の成果概要は以下のとおりである。

① 離型剤の冷却効果の調査と適正温度範囲の探求

（恵東精機株式会社、岐阜県機械材料研究所）

離型剤は金型から成型品を取り外す際の離型性を確保するために使われるものである。安価なため多用される水溶性離型剤の場合、金型に吹き付けると離型剤による膜を形成するとともに、金型を冷却する。このため金型は、鋳造中は溶湯から熱が伝わることによる温度上昇および成形品取り外し後の離型剤塗布による冷却の繰り返しにさらされることになる。これは金型寿命を短くする原因として知られているが、その詳細は十分に明らかではない。

そこで、ダイカスト鋳造プロセスにおける金型表面の温度変化について現状を把握することを目的に調査を行った。

調査においては、サーモグラフィーを用いて実際に機械部品を成型中のダイカスト鋳造プロセスにおける金型表面を撮影し、その映像を解析することで金型表面の温度変化を得た。これにより、鋳造プロセスにおける金型表面の温度変化を時系列で把握することができた。この結果を検討した結果、今回測定したアルミダイカスト鋳造プロセスにおいては、離型剤塗布による金型の冷却効果は、行程に必要ではない可能性が示唆された。離型剤塗布により急激に温度が低下する金型表面と高温を維持する金型内部との温度差はヒートクラックの原因となる。離型剤塗布による金型冷却の必要性が低いことを考慮すれば、金型への離型剤塗布による金型表面の急激な温度低下を極力抑え、金型開放時の自然冷却のみにより変化する温度範囲がアルミダイカスト鋳造プロセスにおける金型の適正温度範囲であると考えられる。

② 金型温度制御手法の確立のための基礎調査（恵東精機株式会社）

金型劣化を抑え、かつ不良品等の発生がない適正な範囲に金型温度を保つ「金型内熱媒循環方式による金型温度制御手法」の確立を目指すための基礎調査を行った。

基礎調査においては、金型温度制御の可能性を確認するため、金型内に熱交換のための媒体を循環させる金型温度制御装置を導入し、これを金型に組み入れ、金型各部の温度を熱電対及び導入する温度測定装置（温度計）にて測定し、設定温度を順次変更した場合の、設定温度に対する金型の実測温度の変化を追跡した。

これにより、設定温度の維持手法や、外部からの熱に対する温度設定手法、金型各部までの温度適正化のための循環経路設計のための知見を広めることができた。

③ 離型効果をもつ表面改質処理手法の開発

③-1 シボ加工手法の開発（恵東精機株式会社）

ダイカスト成形のような高温で行う成形においては、被成形物の熱収縮によりわずかながら被成形物が型から離れようとする力が働くが、通常は、金型と被成形物の密着や、複雑形状の制約による食いつき等のため、それによるだけで被成形物が型から外れることはない。（従って、通常は離型剤が必要となる）しかし、金型の表面に微細な凹凸形状が存在すると、被成形物の熱収縮により個々の凹凸部において「離型点」が発生し、

金型と被成形物の接触面に複数の離型点が均一に発生することにより、金型と被成形物の間の密着性が失われ離型性を持つと想定される。そこで、シボ加工により、金型表面に離型性を保持するための微細な凹凸を生成する手法について検討した。

製品品質を確保と離型性の確保の両立を考慮し、最適と思われる金型表面粗さ（凹凸形状）を決定し、スパークデポによるシボ加工により、金型表面に適切と思われる表面粗さの凹凸を生成することが可能であることを確認した。本手法によるシボ加工に表面処理を加えた複合処理を施した金型について鑄造試験を実施した結果、離型剤レスによる鑄造が可能であったことから、離型性保持のための適切なシボ加工手法を開発することができたと考えられる。

③-2 電子ビーム加工機を用いた表面改質及び窒化処理による複合表面処理手法の開発

（恵東精機株式会社、岐阜県機械材料研究所）

項目③-1 で形成したシボを、鑄造プロセスにおいて摩耗損失（溶損）させないための複合表面処理を行った。通常の硬化処理手法のひとつとして知られる窒化処理は、材料に含まれる Cr が表面付近に偏って存在する場合にはその効果が持続しやすいことが近年報じられている。そこで、単独の窒化処理よりもさらなる金型の高硬化化を図るために、硬化処理の下処理として、金型材に含まれる Cr を表面付近に偏析させるために金型に電子ビーム加工を施し、これに窒化処理を施す「複合表面処理」を行った。

項目③-1 で施したシボ加工が、鑄造プロセスにおいて長期間にわたって摩耗損失せず離型効果を保持できる金型表面改質処理方法を開発することを目的に、シボ加工面に電子ビーム加工を施し、その効果を表面粗さ測定および硬さ測定で評価した。その結果、電子ビーム加工を施すと滑らかな表面になることがわかった。また、想定していた電子ビーム処理による硬化は認められず、逆に金型表面の軟化が観測された。これは、シボ加工によって表面が硬化しワレ易くなった所を、電子ビームの溶融と凝固を繰り返すことで再調質され、表面改質処理の効果として鋼の硬さ / 強度 / 韌性が調整されたことになり、結果として複合処理の下地としては最適な状態が得られたものと考えられる。

③-3 試作金型による離型剤レス鑄造試験

（恵東精機株式会社、岐阜県機械材料研究所）

項目③-1 および③-2 により実施した試験より最適と思われる条件を選定し表面改質処理を施した試験用金型を用いた鑄造試験を行い、離型剤レスでも離型が可能かどうかの確認を行った。水スプレー塗布、エアブローの2種類で離型剤レス鑄造の可能性を検証した結果、両方の条件において、連続 600 ショット以上の鑄造に成功し（目視検査での良品率 90%以上）、離型剤レスで鑄造が可能であることを確認した。

また、鑄造試験中の試作用金型の温度測定を実施し、項目②の金型温度制御手法確立のための基礎データの収集を行うとともに、湯流れ解析シミュレーターを用いて金型の湯流れ方式についても検討を行った。

④ 実用金型による離型剤レス鑄造試験（恵東精機株式会社、岐阜県機械材料研究所）

実用レベルの複雑形状を有する実用金型を用いて離型剤レス鑄造試験を行い、提案手法が実際の製品製造に適用可能かどうかを検証した。(a) 水スプレー塗布、(b) エアブローの2種類で離型剤レス鑄造の可能性を検証した結果、(a) においては、連続 300 ショット以上の鑄造に成功し（目視検査での良品率 90%以上）、離型剤レスで鑄造が可能であることを確認した。一方、(b) においては、急激な金型の温度上昇により5 ショット目でトラレが発生し、良品（目視検査）の鑄造はゼロであった。しかしながら、実用金型において、エアブローのみによる離型剤レス鑄造において、製品が離型する

ことが確認されたことは、大きな成果といえる。金型温度制御手法の高度化により金型を適正温度内に制御することが可能になれば、実用レベルの複雑な金型においても、エアブローのみによる離型剤レスでの鋳造が可能になることが期待できる。

また、鋳造試験中の試作用金型の温度測定を実施し、項目②の金型温度制御手法確立のための基礎データの収集を行うとともに、湯流れ解析シミュレーターを用いて金型の湯流れ方式についても検討を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人岐阜県産業経済振興センター事業推進部 浅井 博次

所在地：〒500-8505 岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

(最寄り駅：東海旅客鉄道株式会社 東海道本線 西岐阜駅)

電話：058-277-1093

FAX：058-273-5961

E-mail：asai@gpc-gifu.or.jp

第2章 本論

① 離型剤の冷却効果の調査と適正温度範囲の探求

(目的)

本研究は、ダイカスト鋳造金型にシボ加工および電子ビーム処理を施すことにより、金型表面に塗布する離型剤の使用量を減らすことを目的としている。

離型剤は金型から成型品を取り外す際の離型性を確保するために使われるものである。安価なため多用される水溶性離型剤の場合、金型に吹き付けると離型剤による膜を形成するとともに、金型を冷却する。このため金型は、鋳造中は溶湯から熱が伝わることによる温度上昇および成形品取り外し後の離型剤塗布による冷却の繰り返しのさらされることになる。これは金型寿命を短くする原因として知られているが、その詳細は十分に明らかではない。

そこで、ダイカスト鋳造プロセスにおける金型表面の温度変化について現状を把握することを目的に調査を行った。

(試験方法)

実際に機械部品を成型中のダイカスト鋳造プロセスにおいて、金型表面をサーモグラフィによって撮影し、映像を解析して温度変化を測定した。なお測定は、アルミダイカスト鋳造プロセスにおいて行った。これは固定金型に可動金型を横から押し当て、溶融したアルミニウムを固定金型にある湯口から圧入して成型する鋳造プロセスである。

表1に本項で調査対象とした鋳造プロセスのプロファイルを示す。

表1 鋳造プロセスのプロファイル

素材	アルミニウム
溶融炉の溶湯表面最高温度	510℃
1ショットサイクル時間	約33秒
金型密閉時間	約13秒
金型開放時間	約20秒
離型剤塗布時間	約2.4秒

(結果)

固定金型と可動金型の熱分布画像を図1に示す。また熱分布測定映像を解析して得た金型の成形部表面の最高温度について、可動金型の場合を図2に、固定金型の場合を図3に示す。

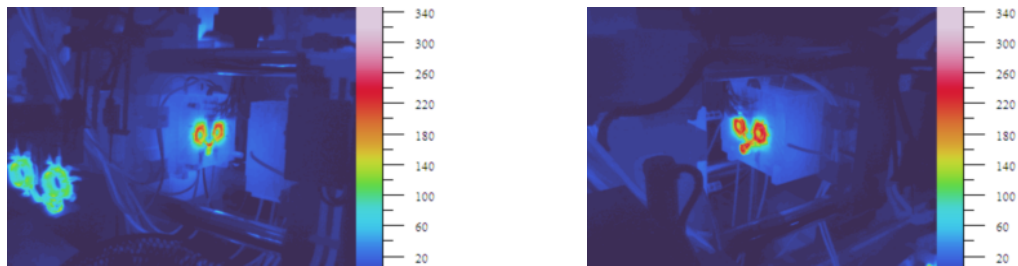
固定金型の表面温度変化は以下のとおりである。

- ・金型開放直後、表面温度は280℃を越えている。
- ・成型品を取り出しているあいだ、230℃程度まで自然空冷されている。
- ・離型剤塗布中は100℃近くまで急冷されるが、塗布を停止するとともに温度は、約190℃まで上昇する。
- ・離型剤を塗布する噴射口が待避するあいだ、金型はふたたび自然空冷される。
- ・型閉め直前には175℃程度になっている。

可動金型の表面温度変化は以下のとおりである。

- ・ 成型品を取り出した直後、表面温度は約280℃である。
- ・ その後、260℃程度まで自然空冷される。
- ・ 離型剤塗布中は100℃程度まで急冷されが、塗布を停止するとともに温度は、約190℃まで上昇する。
- ・ 離型剤を塗布する噴射口が待避するあいだ、金型は僅かに昇温する。
- ・ 型閉め直前には200℃程度になっている。

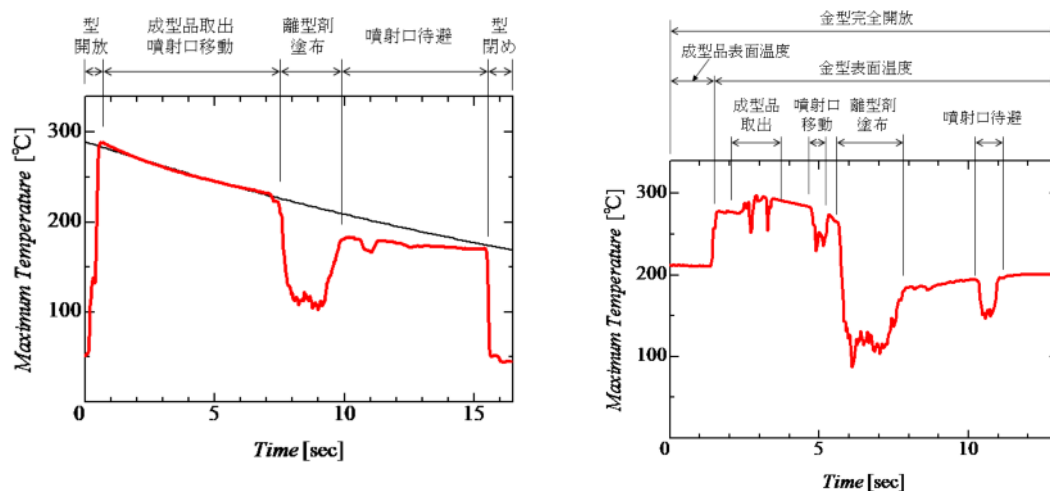
なお可動金型においては、金型開放直後は成型品が金型に収まっている状態である。



(a) 固定金型

(b) 可動金型

図1 アルミダイカスト casting プロセスにおける金型の熱分布測定結果



(a) 固定金型

(b) 可動金型

図2 金型における成型部表面の最高温度変化

(考察)

金型への離型剤塗布の約2.4秒の間に温度は、130℃以上変化している(図3、図4)。また、固定金型、可動金型ともに、離型剤塗布が終わるとともに、表面温度が上昇している。これは、金型内部の熱が表面に移動したためと考えられる。よって、離型剤塗布による冷却効果は金型表面に限られると推察される。

ここから、この短い時間の大きな温度変化は、金型表面において顕著であり、 casting プロセスにおいては1ショットごとに、熱衝撃によるダメージにさらされていると考えられる。

なお、固定金型を自然空冷した場合の温度変化を推定するため、図3における1秒から7秒までのデータを用いて、最小二乗法によって1次の指数関数による近似を得た。図3における黒線が近似曲線である。

この近似曲線が、実際の自然空冷における金型表面の温度変化を表現できていると仮定し

た場合、実際に測定した、離型剤の冷却がプロセス中に含まれる場合の金型表面の温度と近似曲線による推定温度を、型閉め直前において比較すると、大きな違いは認められない。ここから、今回測定したアルミダイカスト鋳造プロセスにおいては、離型剤塗布による金型の冷却効果は、行程に必要ではない可能性が示唆される。

以上のことから、離型性が保持される程度に離型剤の使用量を減らすことは、金型の長寿命化に有効であると考えられた。

また、アルミダイカスト鋳造プロセスにおける金型の適正温度範囲は、離型剤塗布により、金型と表面と内部の温度差が発生し、これはヒートクラックの原因となることから、金型への離型剤塗布による一時的な冷却がなく、金型が開放されたとともに自然冷却し、次の鋳造プロセスに移行するような温度範囲が適当であると考えられた。

② 金型温度制御手法の確立のための基礎調査（恵東精機株式会社）

（目的）

「金型内熱媒体循環方式による金型温度制御手法」の確立を目指すところであるが、そのための基礎調査として、金型温度制御装置による温度制御の可能性を確認した。

（調査方法）

金型内熱媒体循環方式による金型温度制御装置を用いた温度制御確認をした。

（結果）

結果は以下の通り。

試験用金型

可動 温調100℃設定・測定温度 86℃ 固定 温調100℃設定・測定温度116℃

可動 温調200℃設定・測定温度151℃ 固定 温調200℃設定・測定温度160℃

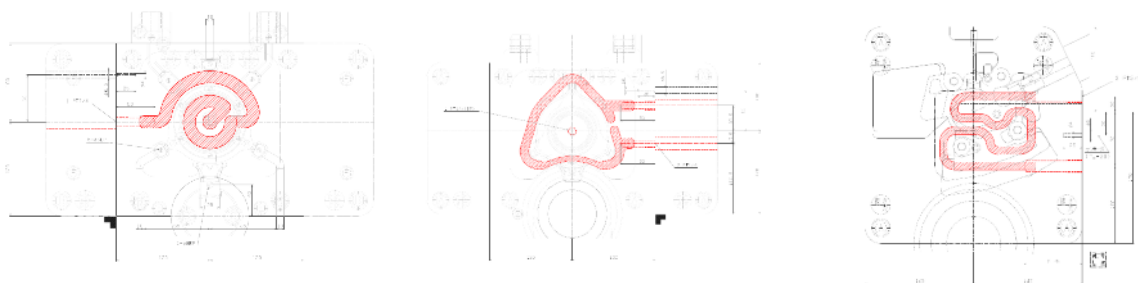
実用金型

固定 温調100℃設定・測定温度 85℃

固定 温調200℃設定・測定温度175℃

（考察）

- ・金型温度は金型温度制御装置の設定温度と同等であり、金型温度制御装置での温度制御は可能であると考えられます。



試験用金型可動部循環経路

試験用金型固定部循環経路

実用金型固定部循環経路

図3 金型の金型内熱媒体循環経路

③ 離型効果をもつ表面改質処理手法の開発

③-1 シボ加工手法の開発（恵東精機株式会社）

（目的）

金型表面に微細な凹凸形状を付与することで熱収縮のみにより離型性を保持させることが可能かどうかを検証するため、適切な凹凸を付与するシボ加工手法について検討する。

（調査方法）

今回、シボ加工の手法として、低コストかつ、加工の自由度が高いスパークデポを採用した。このシボ加工手法は、コーティング電極成分により、高温硬度が高く、熔融アルミと反応しにくい（又レ性が悪い）皮膜を形成する特性を有しており、鑄造にも適している。このコーティング電極にはいくつかの種類があるが、今回は、アルミダイカスト金型に最も適していると言われるタングステン・チタン・カーバイト（WC-Co）の1種類のみの実施とした。

本項では、シボ加工による金型表面への凹凸形状生成の検証についてのみ述べ、離型性の評価については、離型剤レス鑄造試験の項で述べる。

（加工条件）

一般的なダイカスト製品の鑄造時熱収縮率は約 $6\mu\text{m}/\text{mm}$ であるため、製品表面の凹凸をそれ以下に抑える必要がある。一方、底面は離型性を確保する必要があることから、熱収縮量以上の凹凸を有することが望ましい。以上から、底面の表面粗さ $10\mu\text{m}$ 、壁面の表面粗さ $5\mu\text{m}$ が適切なシボ加工条件と仮定して処理を行った。

（結果）

（底面） 想定面粗さ $10\mu\text{m}$ に対し面粗さ $6.28\mu\text{m}$ （シボ加工面の粗さ測定結果より）

（壁面） 想定面粗さ $5\mu\text{m}$ に対し面粗さ $4.49\mu\text{m}$ （シボ加工面の粗さ測定結果より）



図4 シボ加工機作業の様子



図5 シボ加工面の例

（考察）

製品品質を確保と離型性の確保の両立を考慮し、最適と思われる金型表面粗さ（凹凸形状）を決定した。さらに、スパークデポによるシボ加工により、金型表面に適切と思われる表面粗さの凹凸を生成することが可能であることを確認した。また、本手法によるシボ加工に表面処理を加えた複合処理を施した金型について鑄造試験を実施し、離型剤レスによる鑄造が可能であることを確認したことから、採用したシボ加工、及び、設定した表面粗さが適切であったと考えられる。鑄造試験の詳細については、離型剤レス鑄造試験（③-3、④）の項で述べる。

③-2 電子ビーム加工機を用いた表面改質及び窒化処理による複合表面処理手法の開発 （恵東精機株式会社、岐阜県機械材料研究所）

（目的）

項目 ③-1 においては、離型剤を必要とせずに、離型を可能とする金型を開発するため、

金型表面にシボ加工を施した。

本項では、シボ加工を施した金型が、鋳造プロセスにおいて長期間にわたって摩耗損失せず離型効果を保持できる金型表面改質処理方法を開発する。

金型表面改質処理方法については、近年、電子ビーム加工による表面改質の効果が報じられている。そこで本研究においても、電子ビーム処理による表面改質を試みた。

なお前掲した報告では、熱間金型材（SKD61）を対象としており、シボ加工を施した場合については、効果が明らかではなかった。そこで本研究では、シボ加工を施した後に、電子ビーム加工で表面改質した場合の、表面改質の効果について検討することを目的とする。

（試験方法）

金型材に項目 ③-1 で開発したシボ加工を施した試料（試料1）、およびシボ加工を施した後に電子ビーム加工を施した試料（試料2）について、表面粗さおよび硬さを計測・比較した。

試料におけるシボ加工は、タングステンチタンカーバイドを用いて施しており、加工の際の電流値を調整し、シボの程度を変え12種類設定した。これをA～Lとする。シボ加工の外観を図8および図9に示す。

また、試料に施した電子ビーム処理の詳細は表2のとおりである。

なお、試料素材には、SKD61相当で焼入・焼戻により48HRCに硬さに調整したものをを用いた。

（結果）

また、試料1および試料2の面粗さ測定の結果を表2に、硬さ測定の結果を表3に示す。

表2 シボ加工面の粗さ測定結果

測定位置	算術平均粗さ Ra [μm]	
A	2.49	2.26
B	3.01	2.08
C	3.03	2.14
D	4.54	4.27
E	4.62	4.39
F	4.49	3.99
G	3.93	2.71
H	6.04	4.26
I	6.46	5.64
J	6.28	5.38
K	7.77	9.82
L	8.29	7.34
未加工面	0.09	0.11

表3 硬さ測定結果

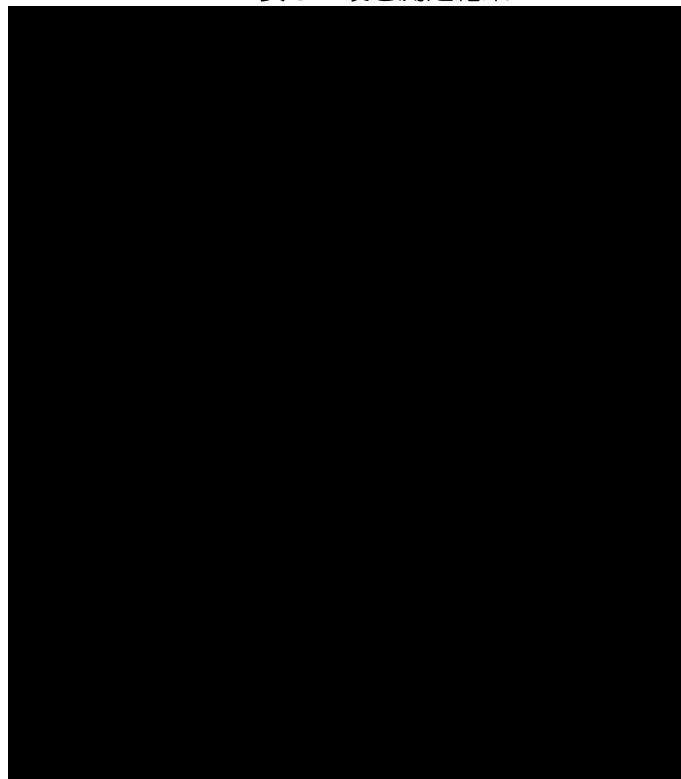
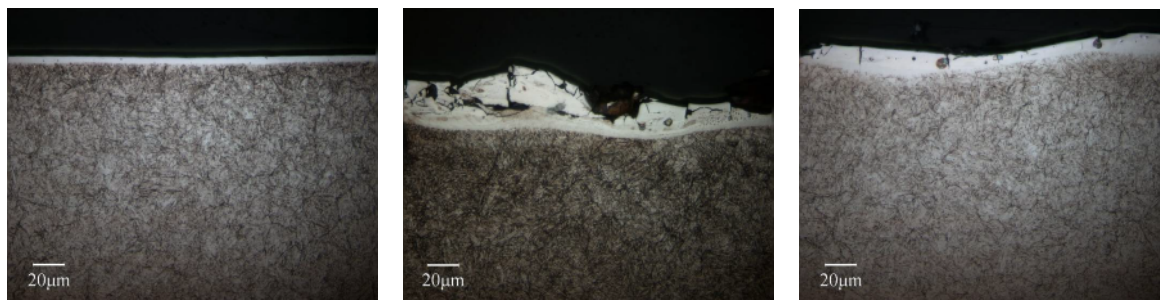


図6に、各処理を施した金型表面の断面写真を示す。

- ① 電子ビームで、平滑化された溶融層は、約 $5\mu\text{m}$ 程度である。
- ② シボ加工で、粗れた範囲は $20\mu\text{m}$ 程度あるが、表面の凹凸は $10\mu\text{m}$ 程度である。
- ③ シボ加工で、形成された表面の凹凸が、電子ビームにより溶融し平滑化されており、

その溶融層は、およそ10 μm の厚みで均一に形成されている。



① 研磨+電子ビーム

② 研磨+シボ加工

③ 研磨+シボ加工+電子ビーム

図6 金型表面の断面写真

(考察)

表面粗さ測定の結果、条件Kおよび未処理面以外はすべて、試料1より試料2のほうが僅かながら粗さが少なくなっている。また試料2の表面は鏡面光沢を有していることから、電子ビーム処理には表面を平滑化する効果があることがわかった。

条件Kにおいて試料2が試料1よりも粗い理由としては、手加工で施したシボ加工が試料1と試料2の間で同一状態になっていなかったことが考えられる。

硬さ試験において、試料2の硬さは、測定箇所、測定深さ、共に明確な差が見られなかった。ここから、施した電子ビーム処理は、試料全面に効果が施されたと考えられる。

試料1は、裏面と比較して表面が硬くなっている。ここから、試料調整時のシボ加工には表面を硬化させる効果もあると考えられる。一方、試料2は素材硬さと違いがみられない。試料2は、試料1に電子ビーム処理を施したものであるため、電子ビーム処理は表面を軟化させると考えられる。これは、シボ加工によって表面が硬化しやすくなった所を、電子ビームの溶融と凝固を繰り返すことで再調質され、表面改質処理の効果として鋼の硬さ / 強度 / 韌性が調整されたことになり、結果として複合処理の下地としては最適な状態が得られたものと考えられる。

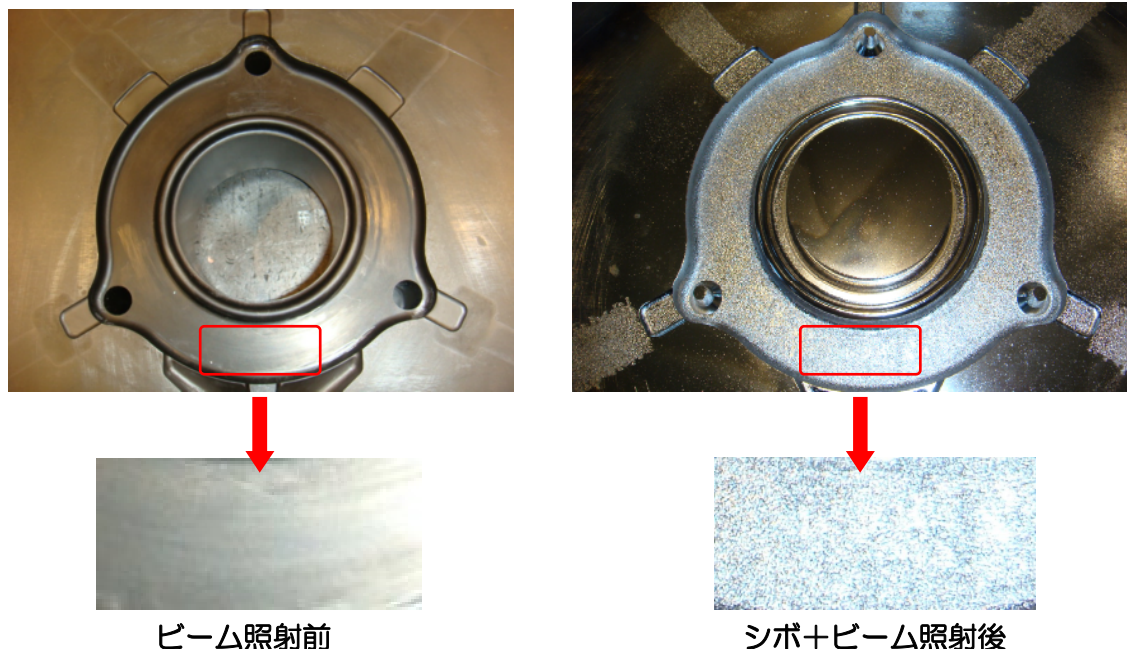
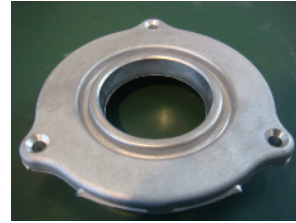


図7 金型表面の様子

後述する試験用金型の casting (③-3) において、離型剤レスで casting が出来た事から考え、シボ加工後に行った電子ビーム加工によって出来た表面の平滑化は離型剤レスに対して良い効果をもたらす事が考えられる。図8に、試験用金型を用いた離型剤レス casting による成型品を示す。



試験用金型成形品 可動側



試験用金型成形品 固定側

図8 試験用金型による成型品

③-3 試験用金型による離型剤レス鋳造試験

(恵東精機株式会社、岐阜県機械材料研究所)

(目的)

項目③-1 および③-2 により実施した試験より最適と思われる条件を選定し表面改質処理を施した試験用金型を用いた鋳造試験を行い、離型剤レスでも離型が可能かどうかの確認を行うことを目的とする。

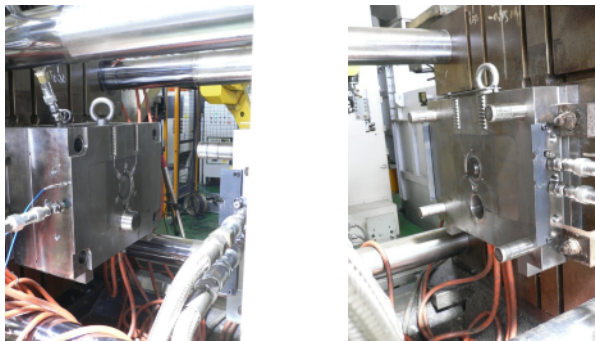
(1) 温調金型の表面温度状態測定実験

鋳造試験中の試作用金型の温度測定を実施し、項目②の金型温度制御手法確立のための基礎データの収集を行った。

以下の条件でアルミダイカスト鋳造を行った際の、固定金型表面の温度をサーモグラフィで測定した。

- ・金 型：試作用金型 表面に複合処理（シボ加工、電子ビーム処理+ α ）あり
- ・金型温度：100℃に調整
- ・離 型 剤：作業者による吹きつけにより塗布

※ この実験は、鋳造工程の条件を決める途中で測定したものである。



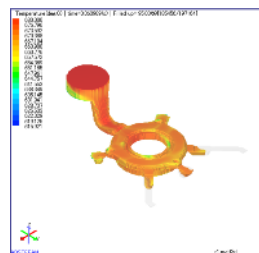
金型（左：可動金型 右：固定金型）

図9 温調回路接続の様子

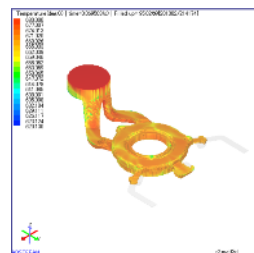
両金型に温度調整用油圧供給口があり、可動金型側面には、温度測定用の熱電対がつけられている。

(2) 試験用金型 湯流れシミュレーターによる湯流れ解析

温度制御を考慮した湯流れ方式の最適化を行うため、湯流れ解析シミュレーターを用いて金型の湯流れ方式について検討を行った。



【湯口1箇所タイプ】



【湯口2箇所タイプ】

図10 湯流れシミュレーション結果

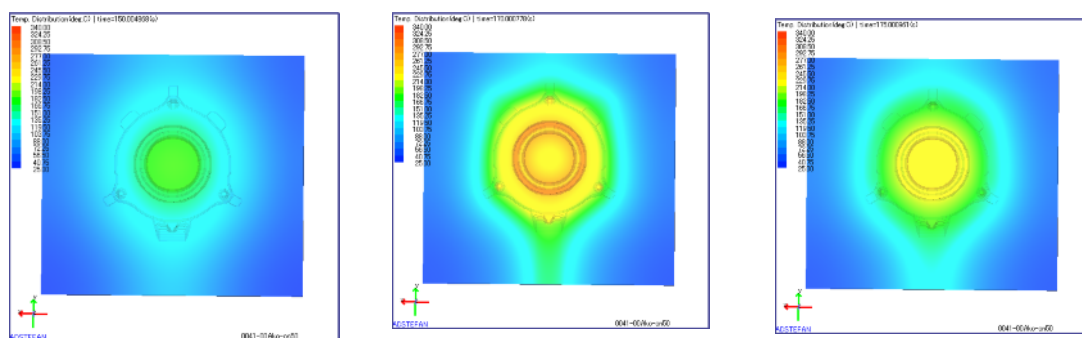
(結果)

解析結果により、【湯口2箇所タイプ】の場合、湯廻りが悪いと思われるため、湯口1箇所タイプの方式を選択した。

(3) 試験用金型温度制御シミュレーション

(目的) 試験用金型の温度制御シミュレーションを行うことで、効果的な金型温度制御手法を検討する。

* 金型に循環制御設計を行い、温度制御シミュレーションで比較をした。



①閉まった状態。

②鋳込み状態。

③開いた状態。

図11 温度制御シミュレーション結果(50°C設定)

(結果)

温調なしの場合、①、②のステップで金型温度が大きく低下しているのに対し、温度制御あり(50°C設定)では、温調なしに比べ、高温に維持されている。金型温度制御手法により、金型温度の変動の少なくなり、金型の高寿命化が期待される。

(4) 試作用金型による離型剤レス鋳造試験

(目的) 単純な形状の試験用金型を用いて離型剤レス鋳造試験を行い、提案手法による離型剤レスによる鋳造の可能性について検証する。

(結果)

離型剤の代替として、①水スプレー塗布、②エアブローの2種類で離型剤レス鋳造の可能性を検証した。その結果、①、②の両方において、連続600ショット以上の鋳造に成功し(目視検査での良品率90%以上)、離型剤レスで鋳造が可能であることを確認した。

④ 実用金型による離型剤レス鋳造試験

(恵東精機株式会社、岐阜県機械材料研究所)

(目的)

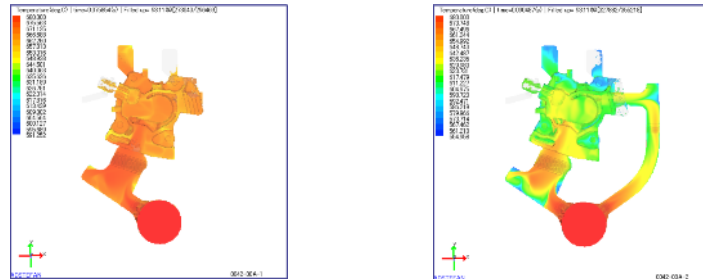
一般に出回っている金型製品と同等の複雑形状をもつ離型剤レス金型(実用金型)を用い、提案手法による離型剤レス鋳造の可能性を検証する。

湯流れ解析シミュレーターを用いて金型の湯流れ方式についても検討を行い、これと項目③による金型への加工・表面処理および試験用金型による離型剤レス試験の結果を基に実用金型を設計・作成し、試作用金型と同様に項目③-1 および③-2 による表面改質処理

を施した実用金型を用いた鋳造試験を行った。

(1) 実用金型 湯流れシミュレーターによる湯流れの解析

(目的) 温度制御を考慮した湯流れ方式の最適化を行うため、湯流れ解析シミュレーターを用いて金型の湯流れ方式について検討を行った。



【湯口／1箇所タイプ】 【湯口／2箇所タイプ】

図12 湯流れシミュレーション結果

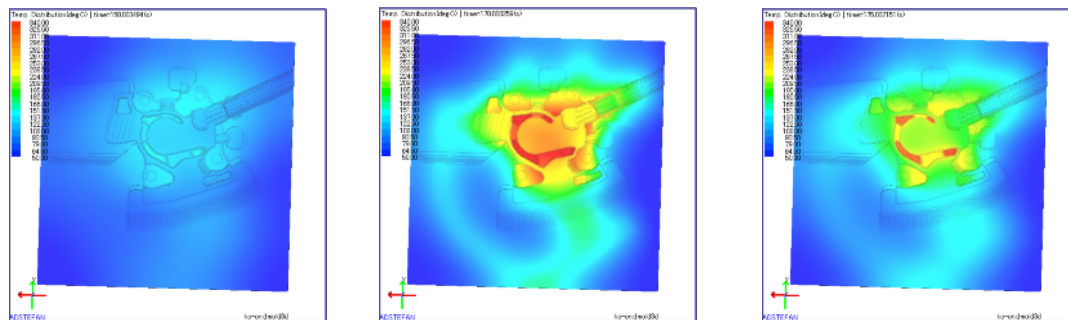
(結果)

解析結果により、【湯口／1箇所タイプ】は湯廻りが悪いと思われるため、【湯口／2箇所タイプ】を選択しました。

(2) 温度制御シミュレーション

(目的) 実用金型の温度制御シミュレーションを行うことで、効果的な金型温度制御手法を検討する。

金型に循環制御設計を行い、温度制御シミュレーションで比較をした。



① 閉まった状態。 ② 鋳込み状態。 ③ 開いた状態。

図13 温度制御シミュレーション結果（50℃設定）

(結果)

温調なしの場合、②のステップで金型温度が大きく上昇しているのに対し、温度制御あり（50℃設定）では、温調なしに比べ、温度上昇が抑制されている。金型温度制御手法により、金型温度の変動の少なくなり、金型の高寿命化が期待される。

(3) 実用金型による離型剤レス鋳造試験

(目的) 実用レベルの複雑形状を有する実用金型を用いて離型剤レス鋳造試験を行い

提案手法が実際の製品製造に適用可能かどうかを検証する。

(結果)

離型剤の代替として、①水スプレー塗布、②エアブローの2種類で離型剤レス铸造の可能性を検証した。その結果、①においては、連続 300 ショット以上の铸造に成功し(目視検査での良品率 90%以上)、離型剤レスで铸造が可能であることを確認した。一方、②においては、5ショット目でトラレが発生し、良品(目視検査)の铸造はゼロであった。水みの塗布では温度の上昇はあまり見られなかったが、エアブローのみでは適性温度である $270 \pm 70^\circ\text{C}$ を超えた急激な温度上昇が見られ(下図参照)、製品のトラレに至ったものと思われる。しかしながら、実用金型において、エアブローのみによる铸造においても、製品が離型することが確認されたことは、大きな成果といえる。金型温度制御手法の高度化により金型を適正温度内に制御することが可能になれば、実用レベルの複雑な金型においても、エアブローのみによる離型剤レスでの铸造が可能になることが期待できる。今後の課題としては、金型温度制御と複合処理のバランス調整が挙げられる。



(a) 湯口取り外し済み



(b) 湯口付き

図14 実用金型による铸造品

最3章 全体総括

3-1 全体総括

鋳造、鍛造において、金型と成型物との間に離型性をもたせる離型剤の使用は不可欠であるが、高額な離型剤コスト、離型剤塗布による金型へ熱的な負荷による溶損、熱衝撃等の発生による金型の劣化、悪臭や溶剤の揮発による作業環境の悪化、成形時の高温により発生するガスによる製品品質の低下など、多くの課題がある。そこで、本研究では、金属部材の製造プロセスにおけるコスト抑制のため、また環境にも配慮した、離型剤を使用する必要が無い長寿命なダイカスト用金型の開発、また離型剤レスのダイカスト製造法の確立を目標に、金型表面（キャビティ内面）に対してシボ加工、電子ビーム加工などを組み合わせた複合処理を施すことにより離型剤を必要とせず離型を可能とする金型の開発、適切な温度制御と熱疲労を軽減させる温度制御手法の開発による離型剤レスダイカスト製造法の確立を目指した研究を実施した。

離型剤レスとすることによって金型の過冷却は抑制できるが、離型剤が担っていると思われる金型表面の冷却効果が得られなくなるため、過熱による製品の焼き付きや金型への熱衝撃が懸念されたため、まず、実際のダイカスト鋳造プロセスにおける離型剤の冷却効果の基礎調査を行った。その結果、離型剤塗布による金型の冷却効果は、行程に必要ではない可能性が示唆されたことから、離型剤レスによる付加的な金型冷却行程は不要であると想定された。

一方、金型温度の過剰な上昇も問題であるため、金型を適正な温度範囲に保つため、金型内熱媒循環方式による金型温度制御機構を導入し、基礎実験により、当該手法による金型温度制御が可能であることを確認した。

離型性を保持するための複合表面処理については、金型表面に微細な凹凸を生成するシボ加工と電子ビーム加工、チッカ処理などの表面改質処理の多様な組み合わせによる効果を金型表面の観察と硬度測定により検証した。更に、複合表面処理を施した金型を用いた離型剤レス鋳造試験を行い、離型剤レス鋳造の可能性について検証した。

まず、単純形状の試験用金型を用い、水スプレー塗布、エアブローの2種類で離型剤レス鋳造の可能性を検証した。その結果、両方の条件において、連続 600 ショット以上の鋳造に成功し（目視検査での良品率 90%以上）、離型剤レスで鋳造が可能であることを確認した。

更に、実用レベルの複雑形状を有する実用金型を用い、同様に（a）水スプレー塗布、（b）エアブローの2種類で離型剤レス鋳造の可能性を検証した。その結果、（a）においては、連続 300 ショット以上の鋳造に成功し（目視検査での良品率 90%以上）、離型剤レスで鋳造が可能であることを確認した。一方、（b）においては、急激な金型の温度上昇により5ショット目でトラレが発生し、良品（目視検査）の鋳造はゼロであった。

本研究により、当初の目標とする、離型剤レス鋳造が可能なる手法を開発することができた。実用金型を用いたエアブローのみによる離型剤レス鋳造における連続成功回数は少ないが、金型温度制御手法の高度化により金型を適正温度内に制御することが可能になれば、連続成功回数の向上も可能と思われる。

3-2 研究開発後の課題

研究開発後の課題を以下に列挙する。これらの課題については、補完研究により対応していく予定である。

- 1、離型剤の冷却効果の調査および新冷却方式の開発
- 2、長寿命離型効果をもつ表面改質処理手法の開発
- 3、試験用金型による離型剤レス鋳造試験後の調査
- 4、実用の金型による離型剤レス鋳造実証試験

3-3 事業化計画

以下に、事業化展開のイメージ図を示す。

