

平成 15 年 戦略的基盤技術力強化事業
研究開発成果報告概要

事業管理 法人名	社団法人 人間生活工学 研究センター	代表者名	野村 明雄	所在地	〒541-0047 大阪市中央区淡路町3丁目3番7号 興和淡心ビル3階 Tel : 06-6221-1660
-------------	--------------------------	------	-------	-----	---

管理番号	技術分野	金型分野
15K-13	技術区分	次世代金型技術 / 金型加工技術
	技術開発課題	金属光造形積層技術およびミーリング加工を複合化した ワン・マシニング・プロセス金型技術
	テーマ名	金属光造形複合加工技術の高度化による革新的金型製造 法の研究開発
	研究開発期間	平成15年8月12日～平成16年2月5日

1. 委託事業実施の背景と委託事業の概要

近年、中国など諸外国との労働コストの格差などから、日本の製造業は国内空洞化の危機にさらされている。特に、基盤産業である金型生産額は1兆8千億円/年（その中で、プラスチック成形金型は6千億円）と世界の生産額の4割を占めていたが、海外での金型生産が急激に増加しており、国内の金型産業は大きな打撃を受けている。金型産業の活性化のために、短納期、低コストを目指した金型製造工法の革新が求められている。

本研究開発の目的は、金属粉末のレーザ焼結積層と小径エンドミルによる仕上げ加工を組み合わせ、金属光造形複合加工技術を高度化することにより、ワン・マシニング・プロセスでの金型加工を実現し、超短納期、超低コストでの金型製造法を確立することである。

2. 委託事業全体の内容と目標

(1) 技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

金属光造形複合加工技術の高度化による、超短納期、超低コスト金型製造法の確立を目指して以下の技術開発を行う。

金属光造形用の新材料開発（金属光造形金型の耐久性向上）

金属光造形複合加工技術(レーザ焼結積層技術、焼結体の切削技術と専用CAM)の高度化

金属光造形金型の特長を活かした高機能金型の開発と実用化技術開発

金属光造形複合加工法は今までにない新しい概念の加工法（付加加工）であり、従来の

切削や放電加工などの除去加工では不可能であった複雑な立体形状が、この金属光造形複合加工のみで加工可能となる。この工法を金型に適用すると、これまで複雑な深いリブ構造をもつ金型は、従来分割して加工をするか、マシニングセンターで加工した後放電加工によって仕上げを行う等複数工程で加工していたが、金属光造形複合加工法（ワン・マシニング・プロセス）では複雑な立体形状加工が本工法の1工程のみで可能となる。その結果、金型加工納期1/3以下、加工コスト1/3以下が可能となり、金型の超短納期、超低コストが実現でき、日本の金型産業の技術基盤強化とともにグローバル競争力UPにつながる。

（2）技術目標値

金属光造形複合加工による量産金型の実用化と、さらに金属光造形複合加工の特長を活かした高機能金型の開発を行う。これらの実現のために、下記の目標に向け要素技術開発を行う。

金属光造形複合加工用の新材料開発：低密度（焼結）～高密度（メルティング）まで密度制御可能な混合粉末材料（成分、混合比率、粒度分布の最適化）と、そのレーザー焼結工法の開発

- ・射出成形金型寿命 20万ショット以上（プリハードン鋼並みの硬度 HRC40 以上）
- ・クラックレス化（高水圧下での水漏れのない水管造形）

金属光造形複合加工技術の高度化：レーザー焼結、切削仕上げ加工の高度化

- ・加工精度 $\pm 10 \mu\text{m}$ 以下
- ・面粗さ $Ry5 \mu\text{m}$ 以下

金属造形複合加工オペレーションマネージャーと付加加工専用 CAM 開発

- ・造形モデル編集及びレーザー処理 50%向上
- ・CAM 処理 50%向上
- ・複合加工 50%向上

金属光造形の特長である、最適な冷却管の造形および設計技術の確立により、ハイサイクルかつ高精度成形を実現

- ・成形サイクルタイムを 30%以上削減
- ・成形精度を 50%以上向上

以上により、中国など諸外国の金型製作コストを凌駕し、かつユーザ企業が望む超低コスト、超短納期の金型製作の実現を目指した射出成形金型づくり（金型設計から金型組立調整まで）のシステムを確立

- ・金型製作期間を従来工法の 1/3
- ・金型コストを従来工法の 1/3

3. 委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

1) 金属光造形用の新材料開発

- 現状 -

松下電工にて金属光造形用のベースとなる鉄系の混合粉末材料を開発し金型への適用評価を行ってきた。現状の材料は、硬度が HRC22 で、プラスチックの成形実験では 10,000 ショット程度の耐久性が確認できている。しかし、市場で実用化される為には、200,000 ショット以上を求められるので、金型の耐久性の高度化をする必要がある。

- 課題 -

小中ロットのプラスチック成形金型に適用するには、金型の耐久性向上が必要。

現状の材料はレーザー焼結用の材料であり、高密度層（溶融層）造形時にクラックが発生する。冷却回路形成時の水漏れ防止のためのクラック対策が必要。

- 解決方法 -

金属光造形用の新材料開発

- ・小中ロットのプラスチック成形に耐えうる、金属光造形用の材料開発

新材料のレーザー焼結技術開発

- ・レーザー焼結時（溶融層造形）にクラックの発生しない、粉末材料とそのレーザー焼結工法の開発

2) 金属光造形複合加工技術の高度化

2-1) レーザ焼結技術、切削仕上げ加工技術の開発

- 現状 -

松下電工にて金属光造形複合加工の基本となる金属粉末のレーザー積層焼結と高速切削仕上げの基本技術の開発を行ってきたが、加工精度が $\pm 30 \sim 50 \mu\text{m}$ 、面粗度が Ry10 数 μm レベルである。しかしながら、外観部品や機能部品などの金型に適用するには、加工精度向上を図る必要がある。

- 課題 -

金属粉末の焼結はレーザーを熱源した加工技術であり、焼結時の熱応力により造形物に $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の反りが発生。

レーザー焼結時に表面に付着した粉末を、高速切削にて除去する工程において、加工部分は混合粉末の完全溶融体、粉末の焼結体、粉末そのものの混在した状態であり、硬度や密度が不均一のため切削抵抗にバラツキなどが発生し、面粗度がバルク材の切削に比べて劣る。

現在ボールエンドミルのみでの加工のため、加工に多くの時間を要する。

- 解決方法 -

レーザー焼結技術の高度化

- ・金属粉末レーザー焼結メカニズムの解明に基づき熱応力を最小にするレーザー走査パターンの高度化、熱応力が最小となる造形構造設計

切削仕上げ技術の高度化

- ・金属焼結体の切削メカニズムの解明に基づき、焼結体の切削工法の確立と専用工具の開発

- ・CAMと連携し、ボールエンドミル、フラットエンドミル、テーパエンドミルなどの最適工具での高効率加工法の確立

2 - 2) 金属光造形複合加工オペレーションマネージャー及び付加加工専用CAMの開発

- 現状 -

金属光造形複合加工法は、今までに存在しない新しい概念のレーザ造形及び付加加工を組み合わせた手法であり、従来の光造形用モデル編集システムと除去加工CAMシステムの単純な組合せでは機能せず、新しい概念のシステムを構築していく必要がある。

- 課題 -

光造形用モデル編集システム/除去加工CAMにそれぞれに入力処理が必要な為それぞれのプロダクトのモデル精度に最終造形物の精度が大きく依存する。

上記の組合せに加え、松下電工開発のプログラムを複数組み合わせているので、熟知している人間しか操作出来ず、実用に耐えない。

除去加工CAMでは、加工面で、加工負荷・エアカット・加工精度・面粗度等で、多くの課題がある。

- 解決方法 -

金属光造形複合加工オペレーションマネージャー及び付加加工専用CAMの開発

- ・レーザ焼結及び付加加工の複合加工に対応できるデータの一貫性及び整合性を確保し操作できるオペレーションマネージャーの開発
- ・付加加工のアルゴリズムを搭載した付加加工専用CAMシステムの開発

3) 高機能金型の開発と実用化技術開発

- 現状 -

金属光造形金型は超短納期、超低コスト金型を実現する、革新的製造工法として期待されている。金属光造形複合加工の特徴として、以下の加工が可能である。

金属光造形複合加工は複雑な形状を造形することができ、金型内部に3次元的に任意の配管を形成することが可能である。

金属光造形複合加工はレーザの照射条件により焼結密度の制御ができ、金型に多孔質部を形成することが可能である。

なお、金沢大学では、金属光造形金型の特長を活かした金型の冷却の研究が行われている。

- 課題 -

金属光造形複合加工の特長を活用することにより、以下の高機能金型加工技術を実現する。

冷却管に活用することで、金型冷却を促進しハイサイクル成形。

冷却管に活用することで、金型温度を均一に保ち、成形品の反りや引けなどのない高精度成形。

ガス流路に活用することで、エアーによる成形品の離型。

多孔質部分はガス流路として、エアーベントに使用することにより割型を不要とする。

多孔質部分はガス流路として、成形時に発生するガスの吸引の他、樹脂流動を促すガス

の供給などの機能を実現。

- 解決方法 -

高機能金型の開発および製作評価

- ・ 金属光造形法を用いて、機能的な 3 次元の冷却水路やガス流路をもった金型の設計および製作法を確立し、CAD/CAE に連動した CAM に仕上げる。
- ・ 3 次元冷却管の造形や焼結密度調整によるガス流路造形工法の確立と、金型製作および成形評価によるノウハウの蓄積と CAM へのフィードバック。

超短納期、超低コスト金型製造工法の確立

- ・ この新しい工法を市場に普及させるために、金型の製作評価を行いノウハウを蓄積するとともに、金型設計から金型加工、成形までの標準化を図り、マニュアル化する。

4 . 当該年度における技術目標値の達成の状況と意義 (実績)

1) 金属光造形用の新材料開発

金属光造形用の新材料開発

- ・ 小中ロットのプラスチック成形に耐えうる、金属光造形用の材料開発

新材料のレーザ焼結技術開発

- ・ レーザ焼結時 (溶融層造形) にクラックの発生しない、粉末材料とそのレーザ焼結工法の開発

最終目標 : 射出成形金型寿命 20 万ショット以上 (プリハードン鋼並みの硬度 H R C 40 以上)

クラックレス化 (高水圧下での水漏れのない水管造形)

年度目標 : 金型の耐久性 50,000 ショット以上

クラックレス材料の設計

達成状況 :

- ・ レーザ焼結時にクラックの発生しない金属光造形用の新材料を開発し、そのレーザ焼結条件を設定した。
- ・ その結果、冷却回路を付与した金属光造形金型の製作が可能となった。

2) 金属光造形複合加工技術の高度化

2 - 1) レーザ焼結技術、切削仕上げ加工技術の開発

レーザ焼結技術の高度化

- ・ 金属粉末レーザ焼結メカニズムの解明に基づき熱応力を最小にするレーザ走査パターンの高度化、熱応力が最小となる造形構造設計

切削仕上げ技術の高度化

- ・ 金属焼結体の切削メカニズムの解明に基づき、焼結体の切削工法の確立と専用工具の開発
- ・ C A M と連携し、ボールエンドミル、フラットエンドミル、テーパエンドミルなどの最適工具での高効率加工法の確立

最終目標 : 加工精度 $\pm 10 \mu\text{m}$ 以下、面粗さ $Ry5 \mu\text{m}$ 以下

年度目標 : 加工精度 $\pm 30 \mu\text{m}$ 以下、面粗さ $Ry15 \mu\text{m}$ 以下

達成状況：

- ・ 熱応力による造形物の反りの要因分析と現象把握を行い、反りの発生メカニズムの推定と課題の明確化ができた。
- ・ 新材料の切削性の評価を行い、切削仕上げ条件を設定するとともに、垂直面での精度悪化の要因分析を行い、課題を明確化した。
- ・ 加工精度 $\pm 30 \mu\text{m}$ 、面粗さ $R_y 15 \mu\text{m}$ を達成、

2 - 2) 金属光造形複合加工オペレーションマネージャー及び付加加工専用 CAM の開発

金属光造形複合加工オペレーションマネージャー及び付加加工専用 CAM の開発

- ・ レーザ焼結及び付加加工の複合加工に対応できるデータの一貫性及び整合性を確保し操作できるオペレーションマネージャーの開発
- ・ 付加加工のアルゴリズムを搭載した付加加工専用 CAM システムの開発

最終目標：造形モデル編集及びレーザ処理 50%向上

CAM 処理 50%向上

複合加工 50%向上

年度目標：加工時間の削減 20%

達成状況：

- ・ オペレーションマネージャーの基本設計を完了し、ベースシステムを作成した。
- ・ 市販システム (CADCEUS) のカスタマイズにより、付加加工 NC データ作成が可能となった。また、形状優先処理機能により、エアーカット時間を短縮し切削時間 25% 以上削減の見通しを得た。

3) 高機能金型の開発と実用化技術開発

高機能金型の開発および製作評価

- ・ 金属光造形法を用いて、機能的な 3 次元の冷却水路やガス流路をもった金型の設計および製作法を確立し、CAD/CAE に連動した CAM に仕上げる。
- ・ 3 次元冷却管の造形や焼結密度調整によるガス流路造形工法の確立と、金型製作および成形評価によるノウハウの蓄積と CAM へのフィードバック。

最終目標：成形サイクルタイムを 30%以上削減

成形精度を 50%以上向上

年度目標：成型精度 20%向上

達成状況：

- ・ 金属光造形法を用いて金型内部に 3 次元冷却水路を有する金型を製作し、実使用に耐えうることを確認した。
- ・ 効果的な冷却水路を配置することで成形精度は 20% 向上を達成した。
- ・ 新材料を使用した金属光造形金型の耐久試験を行い、50,000 ショットの耐久性を有することを確認した。

超短納期、超低コスト金型製造工法の確立

- ・ この新しい工法を市場に普及させるために、金型の製作評価を行いノウハウを蓄積す

るとともに、金型設計から金型加工、成形までの標準化を図り、マニュアル化する。
最終目標：金型製作期間を従来工法の 1 / 3
金型コストを従来工法の 1 / 3
年度目標：本年度は現状の調査を行うことが主眼であり、数値目標は設定していない。
達成状況：
・ 金属光造形金型と従来工法の金型の製作評価を行い、現状の実力と金型製作期間短縮に向けた課題を抽出した。
・ 従来工法との加工時間比較し 55 %削減。

5. 事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

(1) 事業化の目標

金属造形複合加工受注 Net 事業

第一ステップではヤマナカゴーキン、宮丸精密金型、ネイブを中心に、金属光造形金型のサービスビューロ事業を事業化する。

第二ステップでは、金属造形複合加工の金型共同受注 Net を整備し、導入ユーザを加入させ、Net で、ジョブモニタリング（空き状況を管理）しながら、受注活動を行える仕組みを構築する。

サービス事業

コンピュティップス、フェムトロンを中心にメンテナンスサービス、装置の操作教育、ソフトのバージョンアップ、CAD/CAM の教育などのサービス事業を立上げ、金型メーカーなどへの普及を加速させる。

金属光造形複合加工装置の普及

金属光造形複合加工装置は、別途開発を推進している工作機械メーカーが製造・販売を行い、金型業界に普及を図る。

付加加工専用の CAM の普及

付加加工専用の CAM はソフトメーカーに仕様を公開して、ユーザサイドで親和性のよいものが使える環境にする。研究開発メンバーである日本ユニシスからまず販売を開始し普及を促進する。

金属粉末材料の供給事業

金属粉末材料は松下電工で製造し、前記のサービス会社等を通して金型メーカーなどに販売する。

(2) 事業化を取り巻く環境変化

金属光造形複合加工技術は、各種学会（精密工学会、日本機械学会、日本塑性加工学会など）や講演会などで取り上げられ、超短納期、超低コストの金型工法として注目され、日本の金型産業の活性化を図る新技術として期待が高まっている。

金属光造形複合加工による金型の普及には、本研究による金属光造形複合加工の高度化による金型製造工法の確立を行い、上記事業の早期立上げが急務である。しかし、中小企業が大半をしめる金型産業に広く普及させるためには、装置の低価格化も今後の課題である。