

ダイカスト金型向け金属 Additive Manufacturing用粉末「S-MEC™ シリーズ」

1. はじめに

近年、複雑形状を有するダイカスト金型へのAM (Additive Manufacturing) の適用が進んでいる。AMにより作製したダイカスト金型では、三次元形状の水冷管を配置し、金型の冷却能を向上させることで製品製造サイクルの短縮が可能である。また、ニアネットシェイプ化に伴う切削工程の省略により、金型作製工期の短縮だけでなく、部品1個当たりを製造する際の消費電力の削減が可能である点から、AMによるダイカスト金型の作製はカーボンニュートラルに貢献する技術である。

従来、ダイカスト金型には代表的な熱間工具鋼であるSKD61の溶製材が一般的に使用されてきた。しかし、急冷凝固プロセスであるAMにおいては、造形時に焼入れが起こるため、焼入硬さが約54HRCと過度に高いSKD61は、冷却時に発生する熱応力に耐え切れず造形割れが発生しやすいという問題がある。そのため、ダイカスト金型にAMを適用する場合、極低炭素鋼であり造形ままでの硬さが低く、造形割れを発生しにくいマルエージング鋼が用いられてきた。一方、マルエージング鋼はSKD61と比較して、NiやCoなどの固溶元素を多く含むため、金型の冷却能に影響する熱伝導率が低く、熱伝導率と造形性がトレードオフとなる。

上記のトレードオフを超える材料開発を目的とし、SKD61よりも高熱伝導率および優れた造形性を有する熱間工具鋼 (S-MEC™40D、S-MEC™34D) と、汎用のマルエージング鋼よりも高熱伝導率を示すマルエージング鋼 (S-MEC™24M) を開発した (図1)。S-MEC™ (San-

yo Mold for Effective Cooling) とは、従来材料の限界レベルを超える熱伝導性と優れた造形性の双方を実現したAM向けのダイカスト金型用の開発鋼種である。本報では、S-MEC™開発鋼種の特性について報告する。成分設計については、本技報の技術論文に別途記載する。

2. ダイカスト金型向け金属AM用熱間工具鋼「S-MEC™40D, S-MEC™34D」

当社では、SKD61をベースとしてAM用に合金元素を最適化することで、高熱伝導率と造形性を両立するS-MEC™40D、S-MEC™34Dを開発した。本章では、両合金について熱伝導率や機械的特性などの諸特性を紹介する。

2.1 S-MEC™40D, S-MEC™34Dの諸特性

S-MEC™40D、S-MEC™34Dの粉末をガスアトマイズ法により作製し、10 μ m以上53 μ m以下の粒度で分級した。得られた粉末を使用し、金属積層造形装置 (EOS M290) を用いて種々の材料特性試験片を作製した。造形条件はEOS推奨条件MS1、ベースプレートの温度は180 $^{\circ}$ Cに設定した。ワイヤーカットでプレートから切り離して得られた造形体について、以下の調査を実施した。なお、熱伝導率、引張特性、軟化抵抗性、耐アルミ溶損性の評価では、焼戻しを600 $^{\circ}$ C、1時間、空冷で2回行った。

2.1.1 熱伝導率

レーザーフラッシュ法によって評価した熱伝導率の結果を図2に示す。S-MEC™40Dの室温の熱伝導率は、業界最高レベルの40 W/(m \cdot K) を達成した。S-MEC™34Dの熱伝導率は、SKD61、汎用マルエージング鋼よりも向上した。また両合金は、高温 (600 $^{\circ}$ C) でも30 W/(m \cdot K) と高い熱伝導率を示した。

2.1.2 機械的特性

焼戻し後の硬さを図3、および硬さと靱性の関係を図4に示す。シャルピー衝撃試験片 (JIS Z2242 2mm Uノッチ) は、試験片の長手方向が水平になるように配置して造形を行った。焼戻しは、600,625,650 $^{\circ}$ C、1時間、空冷

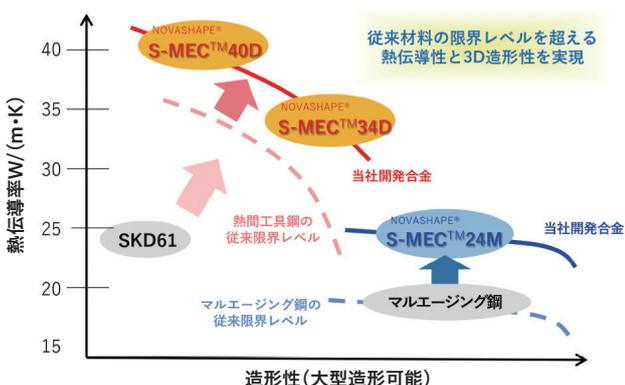


図1 ダイカスト金型用AM粉末の位置づけ

を2回行った。図3の通り、S-MEC™40D、S-MEC™34Dは、熱処理温度によりダイカスト金型に求められる硬さ範囲に調整可能である。また、硬さと靱性のバランス（図4）は、両合金ともにSKD61同等以上を示した。

室温および高温（500℃）での引張強度、0.2%耐力および伸びを図5に示す。常温引張試験片（JIS Z2241 14A号）および高温引張試験片（JIS G0567 A.5）は、試験片の長手方向が水平になるように配置して造形を行った。S-MEC™40D、S-MEC™34Dの常温引張特性（図5（a））は、いずれも溶製材SKD61よりも高い特性を示した。高温引張特性（図5（b））は、SKD61と概ね同等であった。

焼戻し後、600℃で3,10,30,100時間保持した造形体のロックウェル硬さを図6に示す。S-MEC™40D、S-MEC™34Dは、溶製材SKD61よりも高い軟化抵抗性を示した。

2.1.3 耐アルミ溶損性

アルミ材料（ADC12）に650℃、1時間浸漬させた際の試験片（φ100×10）の溶損量を図7に示す。S-MEC™40D、S-MEC™34Dの溶損量は溶製材SKD61の7割程度であり、高い耐アルミ溶損性を示した。

2.2 造形体の作製例

S-MEC™40D、S-MEC™34D造形体の作製例を図8に示す。S-MEC™40D（図8（a））ではφ78mm、S-MEC™34D（図8（b））ではφ180mmと大型の造形体を割れなく作製することができた。

2.3 小括

当社開発材S-MEC™40D、S-MEC™34Dは、高熱伝導率と優れた造形性を有している。また、機械的特性および耐アルミ溶損性はSKD61同等以上であり、ダイカスト金型向けAM用熱間工具鋼として有用である。

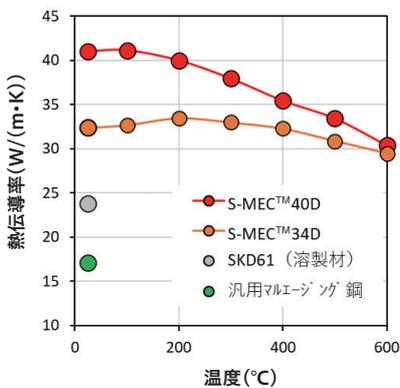


図2 S-MEC™40D、S-MEC™34Dの熱伝導率

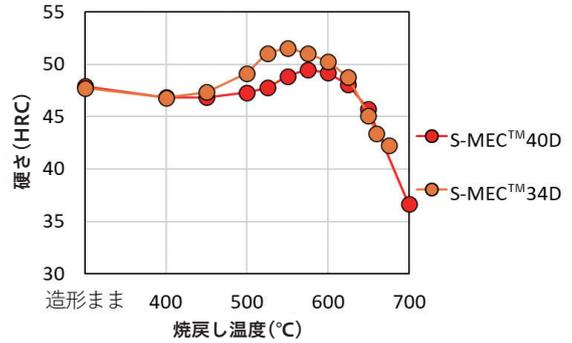


図3 S-MEC™40D、S-MEC™34Dの焼戻し硬さ

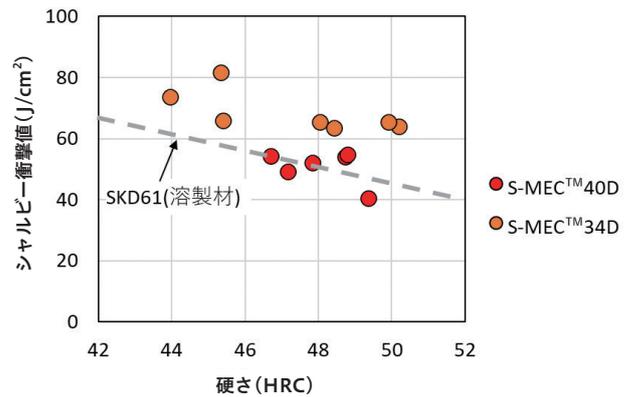


図4 S-MEC™40D、S-MEC™34Dの硬さおよびシャルピー衝撃値（2mm Uノッチ）

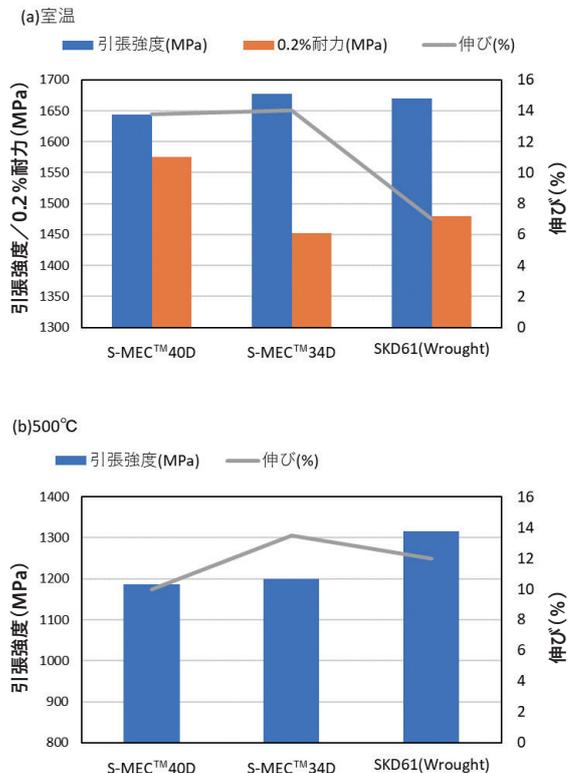


図5 S-MEC™40D、S-MEC™34Dの引張特性（（a）室温（b）500℃）

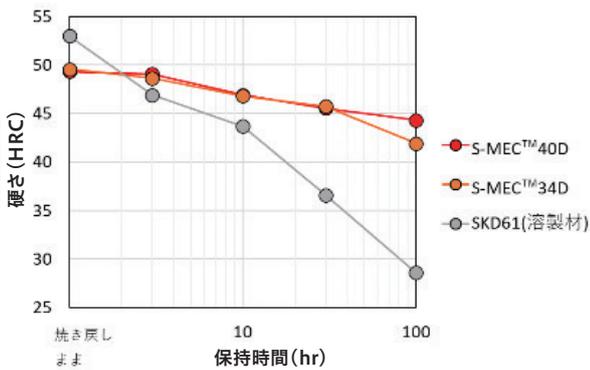


図6 S-MEC™40D, S-MEC™34Dの軟化抵抗性

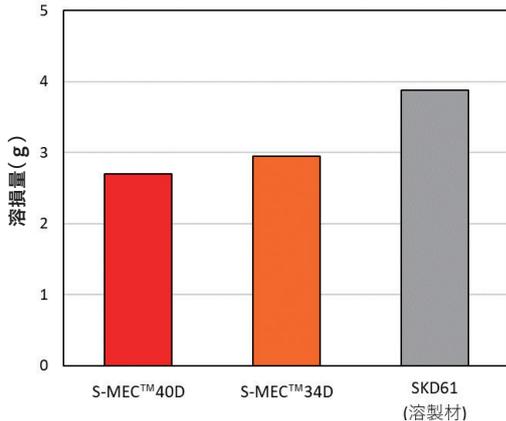
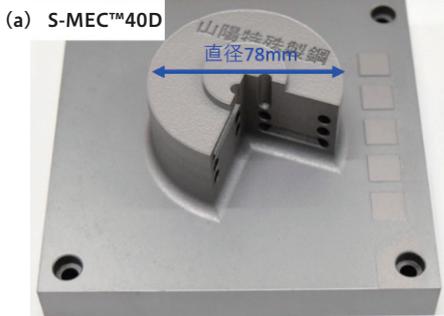
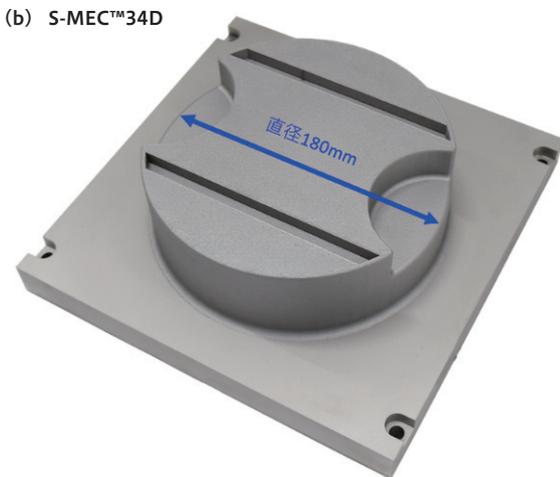


図7 S-MEC™40D, S-MEC™34Dの耐アルミ溶損性



(a) S-MEC™40D



(b) S-MEC™34D

図8 S-MEC™40D, S-MEC™34Dの造形例

3. ダイカスト金型向け金属AM用Coフリーマルエージング鋼「S-MEC™24M」

前述のように、優れた造形性を維持するとともに、高熱伝導率を有するマルエージング鋼の材料開発が求められている。さらに、汎用のマルエージング鋼（18NiGradeC相当、以降は汎用Mと記す）は特定化学物質であるCoを約9%含有しており、取り扱うにあたり屋内作業場での発散抑制措置、局所排気装置の性能要件・点検・届出、除塵装置の設置などが必要となる¹⁾。よって、特定化学物質であるCo添加を回避したCoフリーマルエージング鋼の成分最適化を行い、優れた造形性および高熱伝導率を有する材料の開発を行った。本章では開発材の熱伝導率や機械的特性などの諸特性を紹介し、汎用Mおよび従来のCoフリーマルエージング鋼²⁾（以降はCoフリーMと記す）の結果と比較する。

3.1 S-MEC™24Mの諸特性

S-MEC™24M、CoフリーMおよび汎用Mの粉末をガスアトマイズ法により作製し、10μm以上53μm以下の粒度で分級した。得られた粉末を使用し、金属積層造形装置（EOS M280）を用いて種々の材料特性試験片を作製した。造形条件としてEOS推奨条件MS1を使用し、ベースプレートの温度は40℃に設定した。造形後の試験片をワイヤーカットによりS45Cのベースプレートから切り離し、500～600℃の温度で時効処理後に空冷し、硬さを46HRCに調整した。熱処理後の試験片を使用し、熱伝導率、硬さ、シャルピー衝撃値、引張特性、耐アルミ溶損性の評価を行った。また、時効硬さの温度依存性を調べるため、造形ままおよび、480～630℃で時効した状態の硬さを測定した。

3.1.1 熱伝導率

レーザーフラッシュ法によって評価した熱伝導率の結果を図9に示す。S-MEC™24Mの熱伝導率は、従来のマルエージング鋼に比べて向上していることが分かる。また、溶製材のダイカスト金型として最も使用されるSKD61と同等レベルの値であり、S-MEC™24Mの熱伝導率は、マルエージング鋼の中では業界最高レベルの値である。

3.1.2 機械的特性

図10にS-MEC™24Mの時効硬さ曲線を示す。時効温度を変えることにより、ダイカスト金型で使用される硬さ範囲の43～48HRCに調整することが可能である。

図11にS-MEC™24Mの硬さと靱性の関係を示す。シャルピー衝撃試験片（JIS Z2242 2mmVノッチ）については、試験片の長手方向が水平になるように配置して造形を行った。S-MEC™24Mの硬さと靱性のバランスは、従来

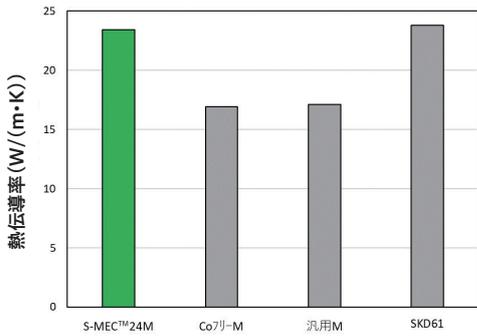


図9 S-MEC™24Mの室温での熱伝導率

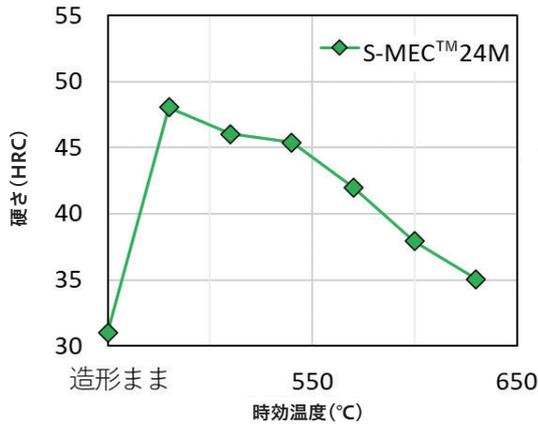


図10 S-MEC™24Mの時効硬さ

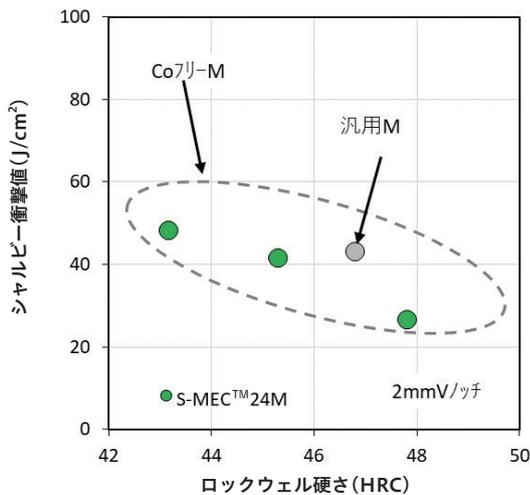


図11 S-MEC™24Mの硬さおよびシャルピー衝撃値 (2mm Vノッチ)

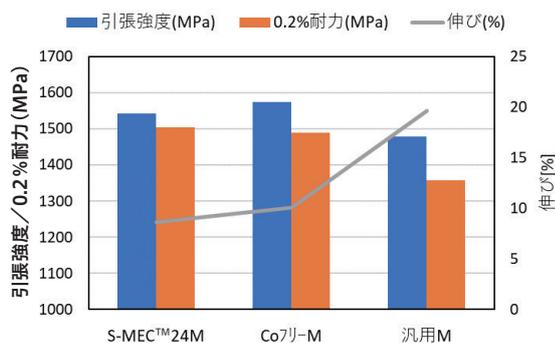


図12 S-MEC™24Mの引張特性

のマルエージング鋼と同等レベルである。

室温での引張強度、0.2%耐力および伸びを図12に示す。常温引張試験片 (JIS Z2241 14A号) は、試験片の長手方向が水平になるように配置して造形を行った。S-MEC™24Mは汎用Mに比べて優れた引張強度および0.2%耐力を示した。また、S-MEC™24Mの伸びはCoフリーMと同等程度である。

3.1.3 耐アルミ溶損性

アルミ材料 (ADC12) に650℃、1時間浸漬させた際の試験片 (φ100×10) の溶損量を図13に示す。S-MEC™24MはCoフリーMおよび汎用Mに比べて優れた耐アルミ溶損性を示した。

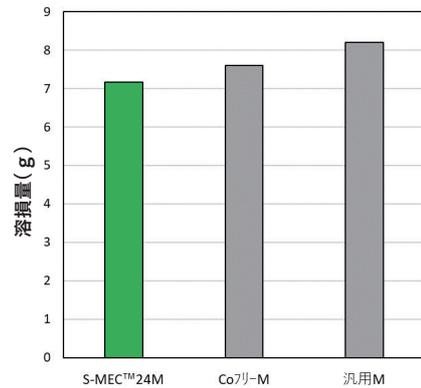


図13 S-MEC™24Mの耐アルミ溶損性

3.2 造形体の作製例

S-MEC™24M造形体の作製例を図14に示す。S-MEC™24Mを使用することで、φ200mmの大型の造形物を作製することに成功した。

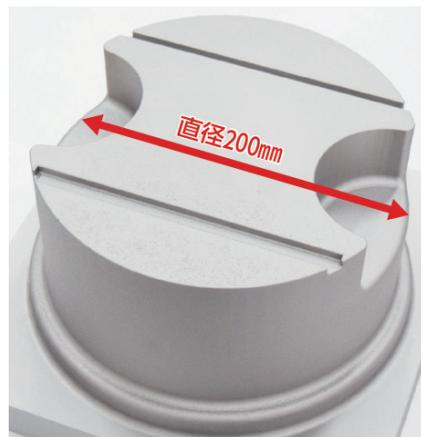


図14 S-MEC™24Mの大型造形の例

3.3 小括

S-MEC™24Mは、従来のマルエージング鋼と同等程度の機械的特性を維持しながら、マルエージング鋼の弱点であった熱伝導率を改善させた材料である。また、マルエージング鋼の特長である優れた造形性も維持し、熱間工具鋼

に比べて大型の造形物の作製も可能であり、AMでのダイカスト金型の製造に有用な材料である。

4. まとめ

本報では、高熱伝導率および優れた造形性を有する熱間工具鋼（S-MEC™40D、S-MEC™34D）と、従来のマルエージング鋼よりも高熱伝導率を示すCoフリーマルエージング鋼（S-MEC™24M）の特性について紹介した。

開発材3鋼種の中でも、熱伝導率と造形性のトレードオフがあり、造形物のサイズが大型ではない場合には、熱間工具鋼（S-MEC™40D、S-MEC™34D）の使用が推奨され、より大型の造形物を作製する場合にはCoフリーマルエージング鋼（S-MEC™24M）が適している。造形サイズや要求特性に応じて最適な材料を選択することにより、ダイカスト金型へのAMの適用が広がり、ダイカスト金型分野でカーボンニュートラル化が加速すると期待される。

参考文献

- 1) 厚生労働省ホームページ
(<http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei48/index.html>)
- 2) 久世哲嗣：山陽特殊製鋼技報，25（2018）1，66-68.