

ダイカスト金型用の高熱伝導率鋼 「DHA-Thermo」の開発

河野正道¹⁾ 井上幸一郎²⁾

1. はじめに

熱交換器としての役割を果たすダイカスト金型において、冷却の速さ、すなわち熱伝導率の高さは重要な実用性能である。近年、ダイカストの生産性向上と鑄造組織改善に対するニーズは更に厳格化しているが、目標達成を阻害する要因の1つが金型の高温化である。金型の迅速冷却が実現すれば、焼付きや熱疲労亀裂の軽減、凝固速度の増大、によって生産性向上と鑄造組織改善が達成される。

以上の理由から、銅合金やタングステン合金といった高熱伝導率材がダイカスト金型に適用されている。しかし、これらの合金は、金型素材の代表である JIS SKD61 に対して約4倍以上の熱伝導率を有する一方で、価格や機械的性質の制約から適用範囲は限定される場合が多い。

著者らは、汎用性に優れた高熱伝導率材の開発によるダイカスト技術の支援を目的とし、熱間工具鋼の高熱伝導率化を検討した。まず、熱伝導率が JIS SKD61 の1.7倍以上であれば、金型の迅速冷却に対する効果が大きいことを数値解析によって確認した。そして、合金元素が各種特性に及ぼす影響を精査し、最適成分を選定した。以上によって、JIS SKD61 の1.7倍の熱伝導率を有し、ダイカスト金型に必要な強度と靱性も兼備した「DHA-Thermo」を開発した。

冷却の速さを最大の特徴とする DHA-Thermo の適用によって、型温低下や鑄造組織微細化など、高い熱伝導率の効果が実機において確認された。DHA-Thermo は、型温分布を制御する新たな技術として、ダイカストに貢献している。

2. 開発の経緯

(1) 熱伝導率の目標値

鋼材の冷却挙動に及ぼす熱伝導率 λ の影響を、数値解析によって見積もった結果を図1に示す。対象は、直径と高さが共に 80 mm で、内部に水冷回路を有する金型である。評価項目は、400°Cの均熱状態から表面温度が200°Cに低下するまでの所要時間とした。室温から400°Cにおける λ (W/m/K) の平均値は、JIS SKD61 が22、炭素鋼が45~50、純鉄とタングステン合金 A が共に80程度である。冷却時間は、JIS SKD61 に相当する $\lambda=22$ を100%として、比率で表現した。

λ が22から80へと3.6倍になると、冷却時間は30%短縮され、タングステン合金 A の迅速冷却効果を裏付ける結果となった。また、タングステン合金 A の半分に対応する15%の冷却時間短縮には、 λ を22から37へと1.7倍にすれば良いことも分る。一方、 λ が2倍の44になって炭素鋼に匹敵する値となっても、冷却時間短縮は19%に留まり、 $\lambda=37$ との差は比較的小さい。

以上より、冷却が速い熱間工具鋼 DHA-Thermo の目標値を、 $\lambda=37\sim40$ とした。

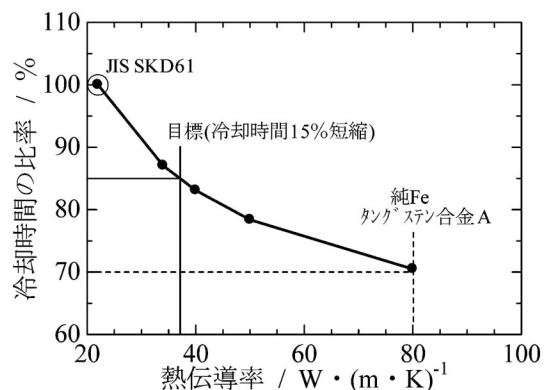


図1 金型の冷却時間に及ぼす熱伝導率の影響。

* 大同特殊鋼株式会社
研究開発本部特殊鋼研究所先進材料研究部
1)主任研究員
2)室長
Development of High Thermal Conductivity Steel 'DHA-Thermo' for Die Casting; Masamichi Kawano, Koichiro Inoue (Daido Steel Co., Ltd.).
2008年10月31日受理

(2) 各種特性に及ぼす合金元素の影響

表1は、ダイカスト金型用鋼に要求される代表的な特性に及ぼす元素の影響を示す。金型となった場合の強度や靱性だけでなく、効率的な機械加工には被削性が、大断面金型の内部においてもマルテンサイト組織を得るには焼入れ性が必要である。注目すべきは、高合金化による焼入れ性の向上が、靱性や強度を改善する一方で熱伝導率を低下させることである。DHA-Thermoの開発においては、焼入れ性確保と高熱伝導率化という背反因子のバランス取りが課題であった。

図2は、43~47HRCに調質した0.4%C-Mn-Cr-V鋼を対象とし、室温における熱伝導率 λ に及ぼすSiとMoの影響を示す。従来の知見⁽¹⁾と同様に、 λ はSiの増量によって著しく低下した。一方、Moの影響は非常に小さい。

焼入れ性に対してはSi・Mo・Vの寄与が小さく、Mnと

表1 0.4%C鋼の諸特性に及ぼす元素の影響。

| 元素 | 添加量/mass% | 熱伝導率 | 焼入れ性 | 衝撃値 | 2次硬化 | 被削性 |
|----|-----------|------|------|-----|------|-----|
| Si | 0.03~0.99 | ↓ | ... | ↓ | (↑) | ↑ |
| Mo | 0.81~2.89 | ... | ... | ↓ | ↑ | ↓ |
| Cr | 0.86~5.23 | ↓ | ↑ | ↑ | ↓ | ↑ |
| Mn | 1.00~1.98 | ↓ | ↑ | (↓) | ... | ↓ |
| V | 0.25~0.60 | ... | ... | ... | ↑ | ... |

↑:改善, ↓:劣化, ...:影響が小さい

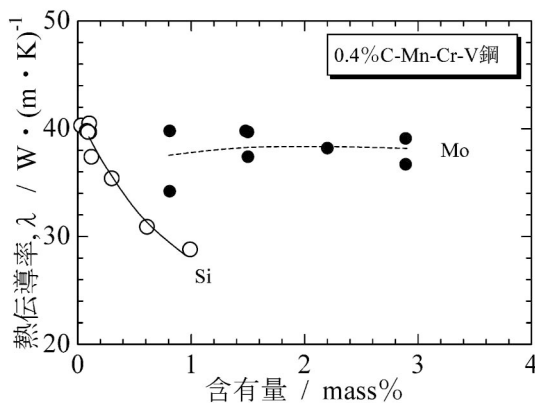


図2 熱伝導率に及ぼすSiとMoの影響。

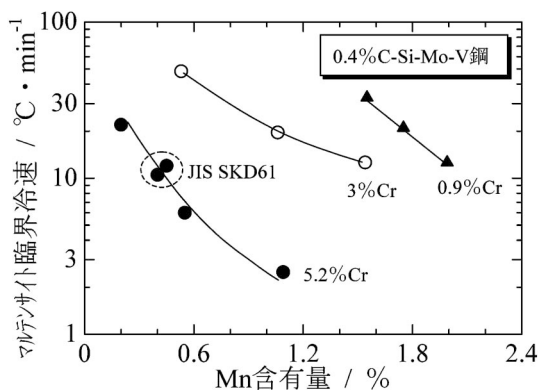


図3 焼入れ性に及ぼすCrとMnの影響。

Crの影響が支配的であった。0.4%C-Si-Mo-V鋼を対象とし、マルテンサイト臨界冷却速度に及ぼすCrとMnの影響を図3に示す。この図から、所要の焼入れ性を得るためのCr量とMn量の見積もりが可能である。

図2、図3および表1の結果に表面処理性なども加味し、DHA-Thermoの成分を決定した。

3. DHA-Thermoの基礎特性

(1) 熱伝導率

熱伝導率 λ (W/m/K)の温度依存性を図4に示す。ダイカスト金型の断面内温度範囲に相当する400°C以下に着目すると、DHA-Thermoの λ は37程度であり、JIS SKD61の22に対して1.7倍となっている。この値は、図1に示した目標と合致しており、冷却能の大幅な改善が期待される。

(2) 焼入れ性と衝撃値

マルテンサイト臨界冷却速度は、JIS SKD61の約1.3倍となる15°C/minであった。焼入れ性はやや低下したが、図5に示す通り、ESRなどを用いて製造された特殊溶解材よりは低位であるが、一般的な溶解方法で製造されたJIS SKD61よりも高位である。また、4°C/minを越える焼入れ速度では、大割れの危険性が低くなる20 J/cm²以上⁽²⁾となる。

以上より、DHA-Thermoが、焼入れ性確保と高熱伝導率化という背反因子を同時に実現した鋼であることが分る。

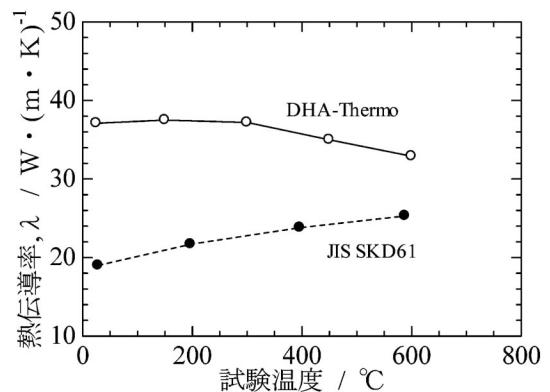


図4 熱伝導率の温度依存性。

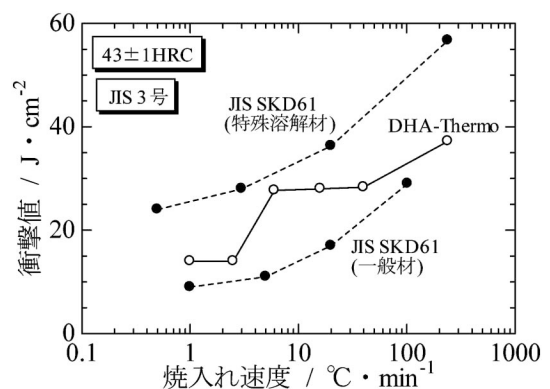


図5 衝撃値の焼入れ速度依存性。

表2 小型設備を用いた鋳造テストの条件.

| 項目 | 条件 | 備考 | |
|----------|-----------|-------------------------|---------|
| ダイカストマシン | メーカー | 東芝機械(株) | |
| | 容量 | 型締力 135 ton | |
| 溶湯 | Al 合金 | ADC12 | |
| | 温度 | 700°C | 保持炉 |
| 鋳造品 | 重量 | 650 ± 15 g | |
| | 概形 | 122 mm × 122 mm × 14 mm | |
| 射出 | 低速 | 0.2 m/s | |
| | 高速 | 1.6 m/s | |
| | 累計 | 25~30 s | |
| 1 サイクル | ダイタイマー, t | 7~12 s | |
| | 離型剤スプレー | 3.5 s | 0.5 MPa |
| 冷却水 | 入子 | 11 ㊦/min | 13~16°C |
| | スプルーコア | 2 ㊦/min | |

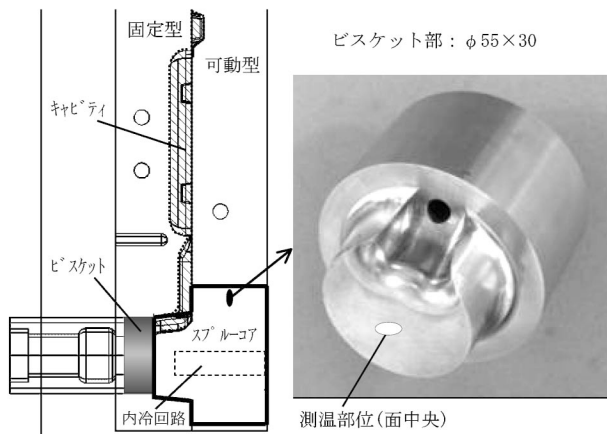


図6 鋳造テストにおける DHA-Thermo の適用部位.

4. 迅速冷却の実機検証

小型設備による鋳造テストの条件を表2および図6に示す. 実生産における鋳造時間短縮の課題は, 最終凝固位置になることが多いバスケット部の迅速冷却である. そこで, スプルーコアに JIS SKD61 と DHA-Thermo を適用し, 金型温度と鋳造組織を比較した.

キャビティ内で溶湯を固化させる時間 t (ダイタイマー)を変化させた場合の, スプルーコアの温度を図7に示す. 測温には放射温度計を用い, 離型剤スプレーの直前に測定した. $t=9$ s で比較すると, DHA-Thermo の温度は JIS SKD61 より140°C低く, 冷却能に顕著な差異が現れている.

$t=9$ s の条件を対象とし, バスケット部表面の鋳造組織を図8に示す. 観察位置は, スプルーコアと接触していた面の中央付近である. DHA-Thermo を適用した場合の鋳造組織が微細な理由は, スプルーコアが溶湯から熱を奪う速度が増加し, 凝固速度も増したためと考えられる.

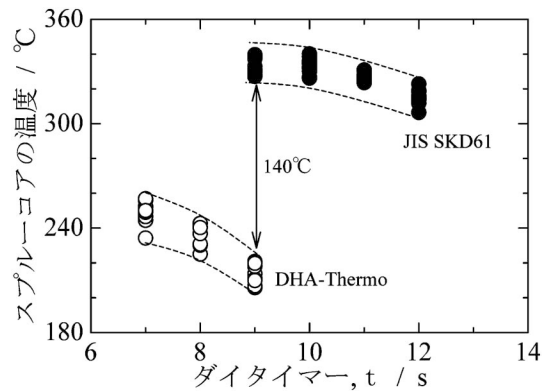


図7 ダイタイマーと金型温度の相関.

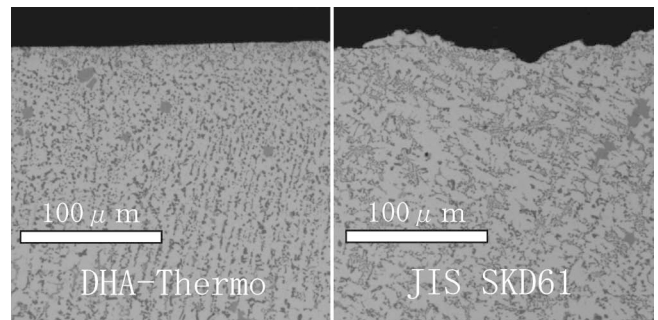


図8 バスケット部表面の鋳造組織.

金型の熱伝導率を1.7倍にすれば, 型温低下と凝固速度増大に大きな期待ができることを, 小型設備の鋳造テストによって確認した.

実際に, 複数のダイカスターにおいて, DHA-Thermo の適用による型温低下と鋳造組織微細化が確認された. 内部冷却や外部冷却の適正化と併せれば, 冷却能の更なる改善が期待できる. 型温制御の自由度を増す技術として, DHA-Thermo はダイカストに貢献している.

5. 今後の展開

DHA-Thermo 適用の効果や弊害などを事前に予測し, 使い方をユーザーに提案するための手段として, 湯流れ解析などの数値計算技術を用いた型温の予測にも積極的に取り組んでゆく方針である. また, ダイカスト以外にも, 迅速冷却と高温強度が必要な用途への適用を検討する.

6. 特許

本件に関する出願は, 特願2006-234659, 特願2007-001932, 特願2007-176341, 特願2008-087706, の4件である.

文献

- (1) 特開2004-183008.
- (2) 井上幸一郎, 大藤 孝, 市岡雄二, 荒木利彦: 電気製鋼, 76(2005), 287-292.