

【事例 1】

高速冷却熱処理における 金型の長寿命化

リヒト精光(株) 天早 享介*、山内 征路**

時代は、平成から令和に移り変わり、自動車業界もエンジン駆動からモータ駆動、AIによる自動運転技術と変革の時代を迎えている。それに伴い、自動車部品、電子部品の耐久性、短納期、コストダウン、環境問題などさまざまな課題が山積している。アルミダイカスト金型においても同様の課題があり、金型の寿命向上が必須課題となっている。

アルミダイカスト金型における寿命向上に関しては、金型鋼の熱疲労（ヒートクラック、溶損、焼付き）、冷却孔近傍における応力腐食割れの解明、ならびに鋼の熱処理・表面処理および金型加工の改善策が開発されている。本稿では、金属熱処理技術による金型の寿命向上の実現に役立つ自社開発真空熱処理炉について紹介する。さらに金型鋼の焼入れ時の冷却速度の違いが衝撃値や内部金属組織に及ぼす影響について報告する。

アルミダイカスト金型の破損要因

アルミダイカスト金型は、鑄造中の加熱・冷却の繰返しによる熱影響、鑄造時における圧力、金型の形状・材質、焼入れ・焼戻し、表面処理、機械加工などが複雑に絡み合っており、ヒートクラック、溶損、焼付きなどの破損が生じる。

このような要因の中、金型の焼入れについて検討した。

*Kousuke Amahaya：取締役専務執行役員
〒601-8135 京都市南区上鳥羽石橋町 19-1
TEL (075) 692-1122

**Seiji Yamauchi：沼津営業所 所長
〒410-0058 静岡県沼津市北町 2-1-15
TEL (055) 939-7351

金型の熱処理技術

アルミダイカスト金型には、合金工具鋼の熱間金型用鋼が主に使用される。苛酷な衝撃、強度が要求されるため、ほとんどが0.6%以下の炭素量である。大型の部品が多いため、焼入れ性に優れた5Cr-1Mo鋼を中心とするSKD61やSKD61の改良鋼種が使用されている。

金型鋼の熱処理は、材料の特性や機械的性能を有効に発揮させるうえで非常に重要な技術であり、熱処理の良否により金型の性能は大きく異なる。つまり、高級な素材を使用した金型も、適切な熱処理を施さなければ、鑄造時におけるトラブルの発生原因になる恐れがある。

焼入れ時の冷却速度の重要性

高温強度が高く、衝撃に強い金型は、ヒートクラック、溶損、型割れに対して有効である。これを実現するには焼入れ時の冷却速度が極めて重要である。

図1に、SKD-61 (ESR材)の連続冷却曲線(CCT曲線)を示す。この資料は、800~500℃域を1秒で冷却(No①の冷却曲線)した硬さが707 Hv(ピッカース硬さ)で、1,054秒で冷却(No⑥の冷却曲線)した硬さが592 Hvとなっている。冷却速度が速いほど冷却終了時の硬さが高い傾向を示している。

図2は、SKD-61 (ESR材)の冷却速度を変えた際のマイクロ組織である。冷却速度の違いにより、それぞれ組織が異なっていることがわかる。

図3は縦軸にシャルピー衝撃値、横軸に冷却時に要する時間(半冷時間)を示しており、各時間にお

いて、冷却速度とシャルピー衝撃値の関係を表している。半冷時間とは、焼入れ温度から半分の温度までの冷却時間のことである(例:1,020℃から510℃までの冷却に要する時間)。油冷却の場合は、加熱室から冷却室(油槽)に浸漬する際、移動するので温度測定が困難なため、時間表示がない。

シャルピー衝撃値と半冷時間の関係を見ると、当然硬度が低い方がシャルピー衝撃値は高いが、同一硬度においては、半冷時間が短い方が高いシャルピー衝撃値を示している。このように、冷却速度を速くすることにより、高い高温強度・シャルピー衝撃値をもつ金型鋼が得られる。

特に、大型の金型では表面部と中心部で冷却速度が大きく異なり、均一な組織が得られない場合がある。そのため、一部の自動車関連企業では、安定した金型性能を得るため品質基準書(仕様書)を作成している。しかし、実際の金型の冷却時に、表面部と中心部の内外温度差を避けることはできない。熱処理業者は、使用する熱処理炉の特性、加熱方法、冷却方法などの特

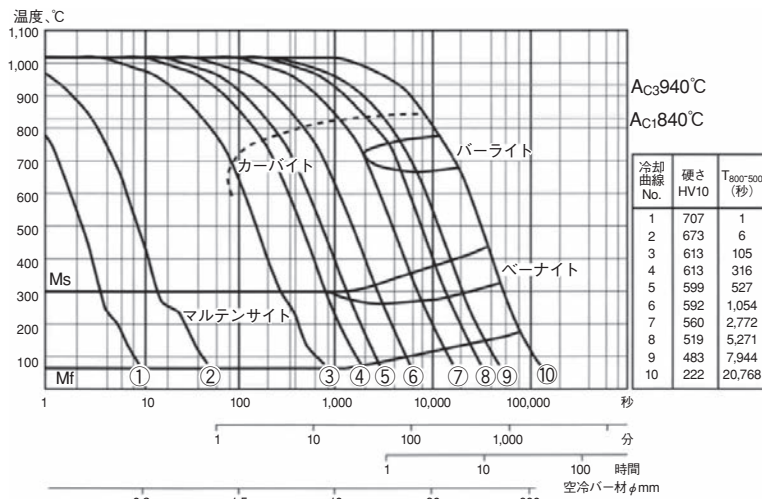


図1 SKD-61 (ESR 材) の連続冷却曲線 (CCT 曲線)

性を熟知したうえで、熱処理を施す必要がある。でないと、安定した性能の金型鋼が得られず、金型の寿命安定性が著しく損なわれる。

しかし近年、自動車業界では金型の大型化や形状の複雑化が進み、冷却速度の速い熱処理を施すことで、焼き割れやひずみが大きくなるなどのトラブルも多数報告されている。そこで当社は、このような問題を解決するため、大型・複雑形状の金型を急冷し、かつ均

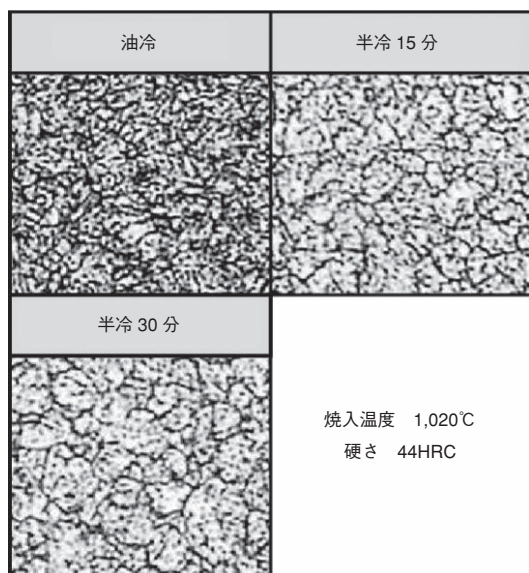


図2 焼入冷却速度とマイクロ組織 (×400)

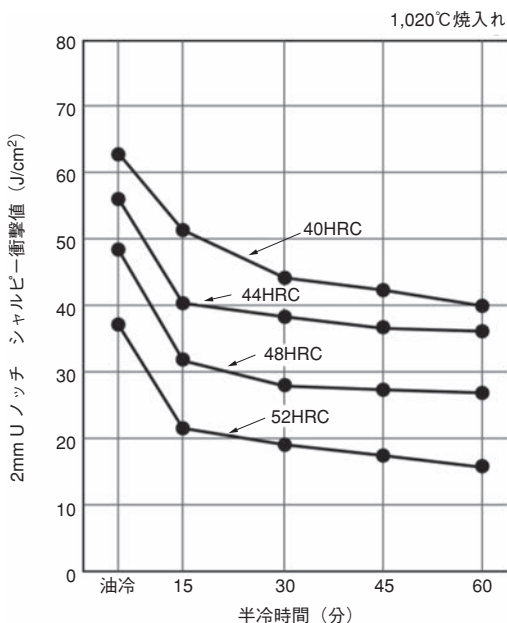
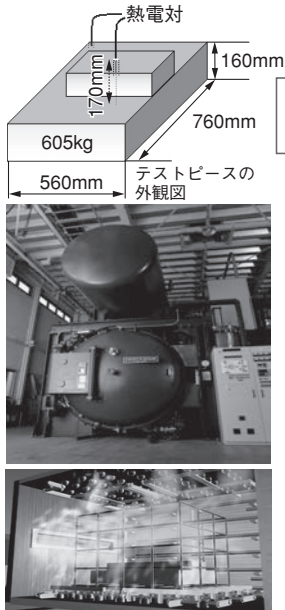


図3 焼入冷却速度とシャルピー衝撃値



熱処理後に金型中心部をくり抜いてシャルピー衝撃試験（2mmU ノッチ）を実施し、その数値から熱処理を評価。



規格：20J/cm² 以上の衝撃値

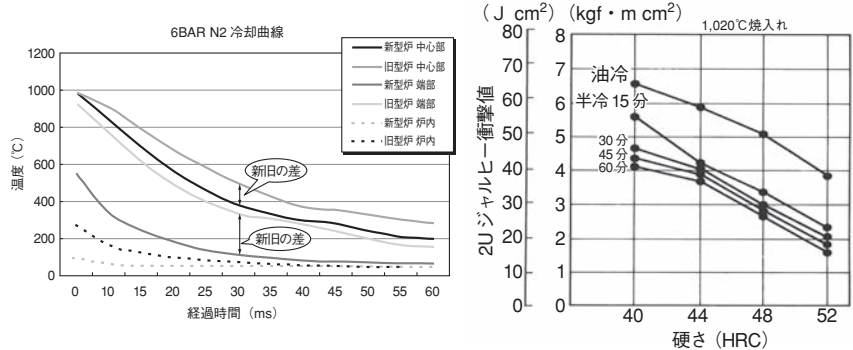


図4 エンジン駆動式加圧ガス冷却真空炉の性能評価

母材硬度	44.3HRC
衝撃値	35.3j/cm ²

母材硬度	44.4HRC
衝撃値	19.6j/cm ²

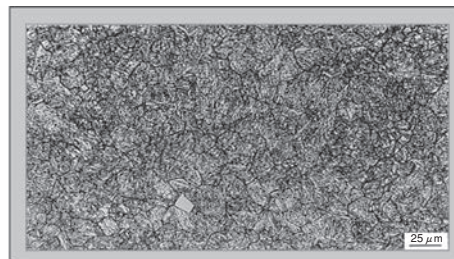
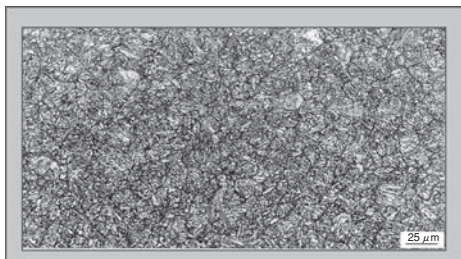


図5 新型炉（左）と旧型炉のシャルピー衝撃値試験および金属組織比較

一な処理を施せるプロセスならびに熱処理設備を開発した。

自社開発真空熱処理炉

1. エンジン駆動式真空熱処理炉

従来の真空加熱・加圧ガス冷却熱処理炉は、冷却時のファンの稼働を電気容量に規制のあるモータ駆動で行っていたが、冷却ガス循環用ファンをモータからトルクの大きいエンジンに換え駆動することにした。このことにより、熱処理物加熱電力を上回る大型モータや大型モータのための送・受電設備、待機電力、基本電力量が不要となった。

エンジン駆動式のファンを使用することにより、モータ駆動のファンと比較して約2倍の冷却能力が得られた。また、冷却室内で冷却ガス圧力を創成し、急速かつ均一な冷却を可能にした。

エンジン駆動式加圧ガス冷却真空炉（新型炉）の性能を評価するため、従来のモータ駆動式の加圧ガス冷却真空炉（旧型炉）の比較を、SKD61 改良鋼種（605 kg）の試験品を作成し、端部、中心部の冷却速度・組織・衝撃値の検証を行った。

結果を図4に示す。端部および中心部の冷却時間の差がはっきりみとれる。また、中心部組織のシャルピー衝撃値の検証結果（図5）からも差が見られる。

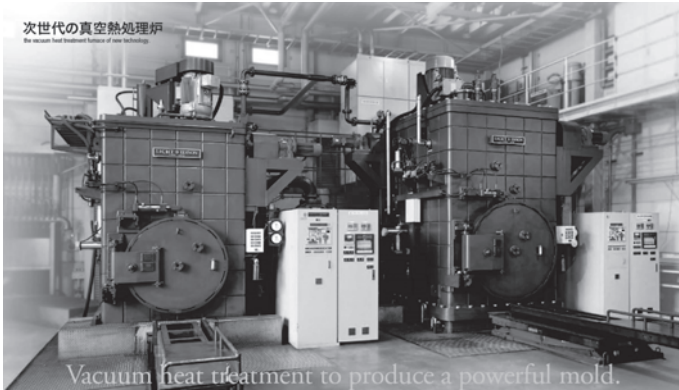


図6 高効率加圧ガス・油冷却真空炉（2室型）

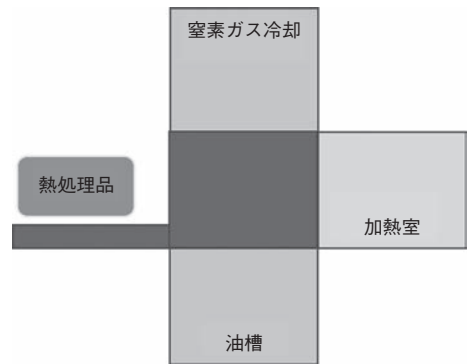


図7 2室型真空炉の側面図

2. 高効率加圧ガス・油冷却熱処理炉（2室型）

図6に外観を示す2室型真空炉は、真空炉の奥で加熱し、手前で冷却を行う方式が特徴である（図7）。冷却方法は、加圧ガス冷却、油冷却、加圧ガス・油連続冷却（GO処理）と鋼種に合わせてさまざまな種類の冷却方法が選択できる。特にGO処理は熱間鍛造金型、中・大型の鑄造金型の高耐久化に効果を示している。

GO処理は、冷却油槽の中で処理物をガスで巻きこみバブル油を吹き当てる。そして蒸気膜段階、沸騰段階、対流段階という冷却の各段階で最適な条件を見出すことで冷却速度をコントロールする。これにより、油による過度な冷却を防止できるなど、均一な高速冷却が可能である。

実際のアルミダイカスト金型（同鋼種）に従来の熱処理とGO処理を施し、約17,000ショットの鑄造時におけるヒートクラックの発生を浸透探傷試験において比較した。検証結果を図8に示す。同図からGO処理の有効性がわかる。また、浸透探傷試験において可視できたヒートクラックの長さを定量値比較した結果を図9に示す。金型の維持・管理の面でも初期修理の開始時期を遅らせることができるデータが出ている。

さらに、高効率加圧ガス・油冷却真空炉は冷却油槽

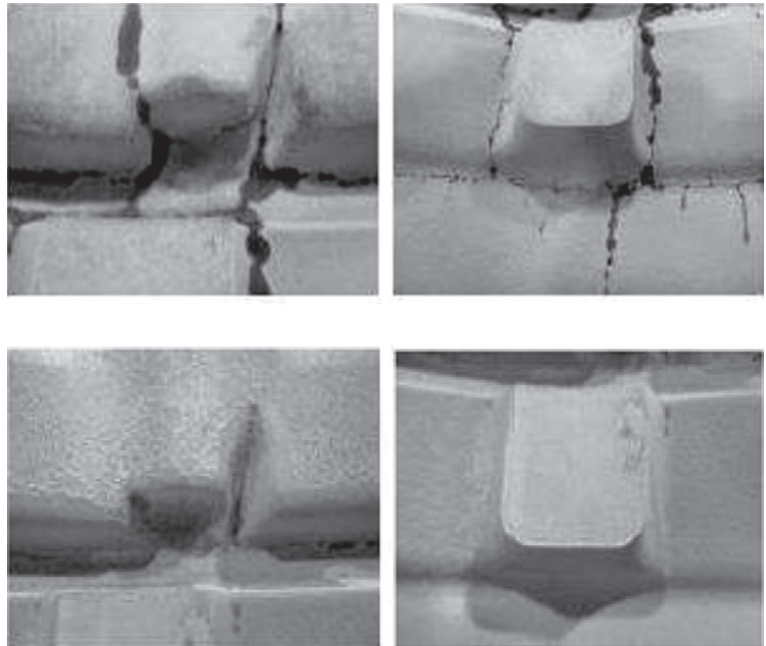


図8 従来熱処理（上）とGO処理（下）

の油を真空炉の圧力差を利用し容易に移し変えることができ、最小の貯油量で複数台の操作が可能で、危険物規制のクリアも容易である。

☆

本稿では、熱処理の冷却速度の制御による金型の寿命向上の取組みとして、2種類の自社開発真空炉での検証結果、事例を紹介した。それぞれの内容から、キーポイントは焼入れ時の冷却速度であると理解できる。しかし、製品の形状が複雑化しており、金型におい

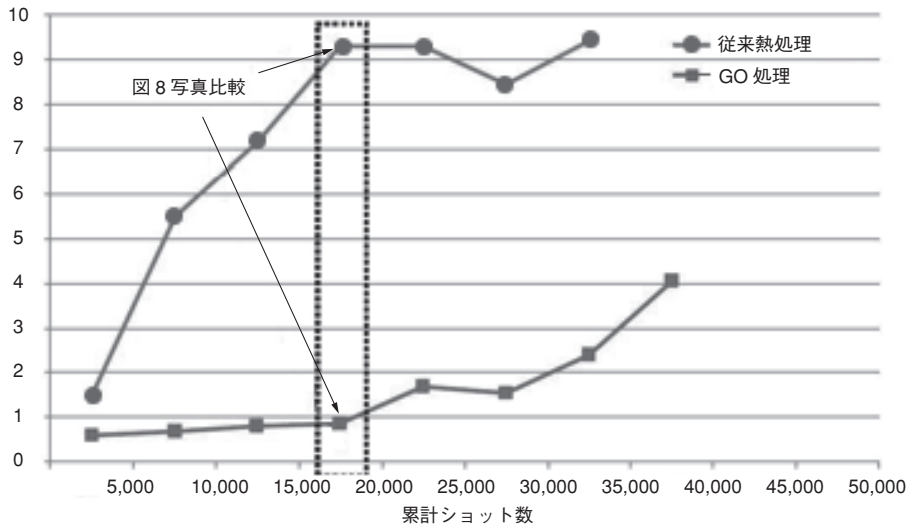


図9 定量値比較

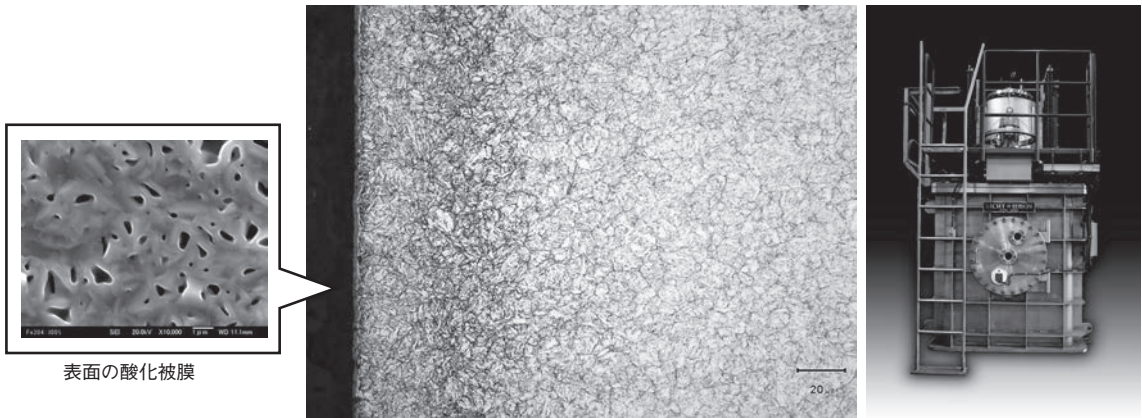


図10 エジソンハード処理の断面組織写真 (SKD61)

でも凹凸の差が大きいものが少なくなく、熱処理時の熱応力、変態応力によるひずみ、割れの問題がある。このようなことから、金型の寿命向上のため、鋼の性能を最大限に活かせるような熱処理について、関係各方面に理解が得られるよう説明しなければいけない。

近年、表面処理技術も日々進歩しており、CVD、PVDといった処理法が用いられている。特に、PVD法による複合膜の開発は、各社で素晴らしい技術革新が進んでいる。しかし、これらの技術は、高硬度を有する反面、硬質被膜部の厚みが数 μm しかできず、母材である鋼との密着性も今後の課題である。

当社ではこのような状況の中、表面の付き回り性の

向上とひずみの低減を可能にし、低温窒化処理の機能向上を追求した窒化技術のエジソンハード処理 (図10) を施工している。エジソンハード処理は、被膜型の表面硬化法ではなく、浸透型の表面硬化法であり、付き回り性、耐摩耗性、耐疲労強度性、耐熱性の向上が要求される金型部品には最適な技術である。母材の高速冷却熱処理と組み合わせ、試行錯誤を重ねつつ、金型寿命の改善に貢献したい。

参考文献

- 1) アッサブジャパン(株) 鋼材資料
- 2) 日立金属(株) 鋼材資料