

## ダイカスト金型に応用する高耐久コーティング技術の開発

高度コーティングプロジェクトスタッフ 田中翔悟 高木 誠 真野 毅

## Development of Highly-Durable Hard Coating Techniques applied to Casting Die

Shogo Tanaka , Makoto Takagi and Tsuyoshi Mano

Damage of casting die used for aluminum die-cast caused by the reaction of aluminum alloy and die itself can be inhibited by PVD coating techniques. By studies dipping a pin-shaped test piece into molten aluminum alloy, durability of PVD-coated steel mold material was evaluated. Degradation mechanism of PVD-coated steel mold material was also discussed.

The results suggest that damage to the PVD-coated steel mold material caused by reaction with the aluminum alloy penetrated from the flaw of coating

## 1. はじめに

ダイカスト法は、溶融金属を金型に高速、高圧注入し、精巧な鋳物を大量生産する鋳造法である。アルミニウム、マグネシウム、亜鉛等の合金を材料とし、自動車部品、家電製品の部品等の製造が行われている。静岡県は、ダイカスト法の金型により全国2位の生産額を有している。近年では、高速生産によるサイクルタイムの短縮、成型精度の向上による後加工の簡略化などへの要求が強まり、型寿命の延長などダイカスト金型の性能向上が急務となっている。

ダイカスト法には、1回の鋳造ごとに溶解炉から合金溶湯を汲み出すコールドチャンバー法と、溶解炉がダイカストマシンに接続され、鋳造ごとにポンプで溶湯を供給するホットチャンバー法がある。アルミダイカストではコールドチャンバー法による製造が主に行われている。ダイカスト法による製造のサイクルは以下ようになる。

- ① 型締め
- ② 溶湯の注入
- ③ 冷却、凝固
- ④ 型開き、製品の取り出し
- ⑤ 離型剤の散布

一般的なアルミダイカスト法に使用されるアルミ溶湯の温度は670℃前後である。溶融金属と接触する部分は高温域での強度と耐久性が要求される。特に、製品形状を決定する金型は、高い形状精度が必要とされるにも関わらず、溶融金属との反応、さら

には水冷及び離型剤の散布による急冷から生じる熱衝撃で早期に劣化してしまう。

以上のことから、ダイカストの金型部材には溶融金属との低反応性や耐熱衝撃性などの一層の向上が望まれている。それに加えて、コスト、納期の要求から加工性の良さ、熱処理、表面処理等の容易さも重要となる。

一般に、金型材としては高温での使用に適したSKD61、SKD11などの熱間金型用鋼材が使用されている。耐熱衝撃性に関しては材料の特性によるところが大きく、各材料メーカーが成分、熱処理条件を調整し、ダイカスト金型に適した材料を開発する取り組みを進めている。アルミ合金との低反応性に関しては、各種表面処理による対策が検討されている<sup>1)</sup>。

## 2. コーティングの応用

溶融アルミとの反応による焼き付き、溶損などの金型の損傷は、金型部材と溶湯の界面での現象であるため、表面処理によって抑制が可能であると考えられる。窒化などの拡散処理は、金型の長寿命化に効果があることが知られており、一般に用いられている。拡散処理は処理コストが比較的安価で、処理深さが深い等の特徴があるが、金型材料内部に異種の元素を拡散させるものであり、アルミ合金と金型表面の反応を抑制することには限界がある。

PVD法（物理気相蒸着法）による金属窒化物などのコーティングは硬度、耐熱性に優れ、金型表面を覆うことにより溶損を大幅に抑制できる可能性がある

る。しかし、拡散処理とは異なり表面に膜を堆積させる手法であるため、基材との密着性や膜自体に存在する欠陥が問題となる。当研究所ではPVDコーティングの密着性を改善し、耐久性を向上させる技術の開発に取り組んできた<sup>2)</sup>。この技術を応用することにより、ダイカスト金型を長寿命化させるコーティング技術を開発することができると考えた。本研究では、コーティング技術開発のための足がかりとして、現行のコーティング技術によって金型の劣化要因の一つである「溶損」(溶融金属との合金化による金型部材の溶解)がどの程度抑制できるかを評価した。また、溶損が起きるメカニズムについて検討した。

### 3. 実験

部材の溶損を簡易的に評価するために用いた試験装置を図1に示す。

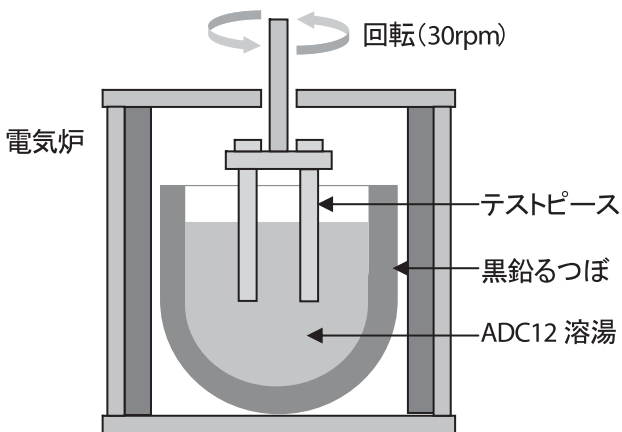


図1 試験装置の概略

約670°Cの溶融したアルミニウム合金(ADC12)中にテストピース(以下TPと表記)を浸漬し、30rpmで回転させる溶損試験を行った。TPはφ10mm×100mmのピン形状(図2)とし、これに窒化処理およびPVD法によるコーティングを施した。

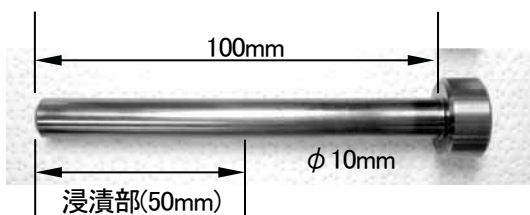


図2 TP外観

TPの材質は、ダイカスト金型の部材として多く用いられている熱間金型用鋼材(SKD61)を使用

### 【報告】

した。所定時間経過後のTPについて、表面に付着したアルミを除去した後に重量測定を行い、試験前の重量から差し引くことによって重量減少(溶損量)を算出した。試験後のTPについて、CCDマイクロ스코ープ(キーエンス製:VHX-100)により表面および断面の観察を行った。また、走査電子顕微鏡(SEM)(日立ハイテクノロジーズ製:S-3700N)により表面および断面の観察を行い、付属したエネルギー分散型X線分析装置(EDS)(堀場製作所製:EMAX x-act)により組成分析を行った。

## 4. 結果・考察

### 4.1 未処理、窒化処理

前年度に行った試験の結果から、表面処理を施していないTP(未処理品)と、窒化処理を施したTPでは損耗が激しく、2hを超える長期の試験には耐えないことがわかっている<sup>3)</sup>。

2h浸漬後の未処理TPの表面状態を観察すると、浸漬部分が全面に損耗していることがわかる(図3)。



図3 2h試験後の未処理品浸漬部

窒化処理を施したTPにおいても、未処理品と同様に全面にわたる損耗が見られた(図4)。



図4 2h試験後の窒化処理品浸漬部

### 4.2 TiN、CrNコーティング

イオンプレーティング法による窒化チタン(TiN)および窒化クロム(CrN)コーティングを

【報告】

施したTPの溶損量を図5に示す。試験時間1hでは、どちらも溶損量が少なく、窒化TPの1/4以下におさえられた。2hの試験では、TiNコーティングでは大幅に溶損量が増加したが、CrNコーティングでは1hと大きく変わらない低い溶損量であった。試験後のTPの外観観察写真を図6に示す。試験時間1hのTiNコーティングでは、未処理、窒化のTPとは異なり、穴状の損傷が全体に点在している。2hでは溶損が拡大し、コーティングは部分的に残っている

の状態であった。一方、CrNコーティングでは、2hの試験後もわずかな数の溶損孔が確認できるのみであった。

4. 3 複合コーティング

試験結果が良好であったCrNコーティングについて、窒化処理と複合させた処理を施し、CrNコーティングのみの場合と比較した。試験時間4hまでの溶損量を図7に示す。試験時間2hでは溶損孔がわず

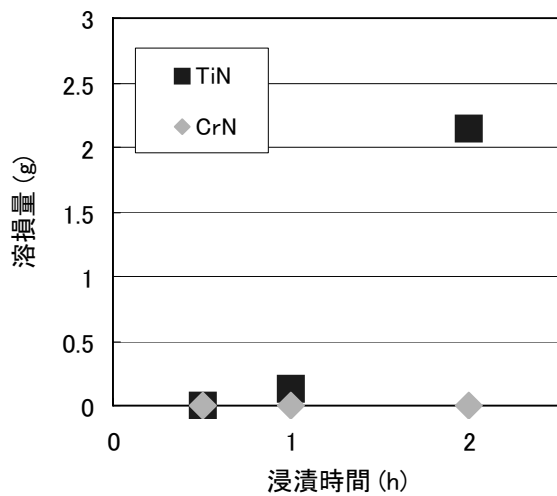


図5 TiN、CrN TPの溶損量

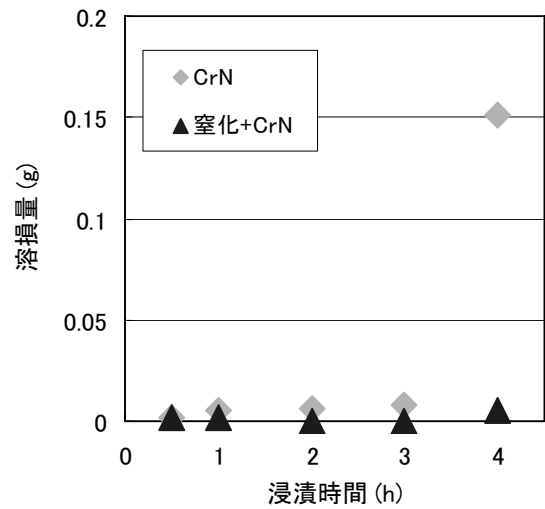


図7 CrN、窒化+CrN TPの溶損量

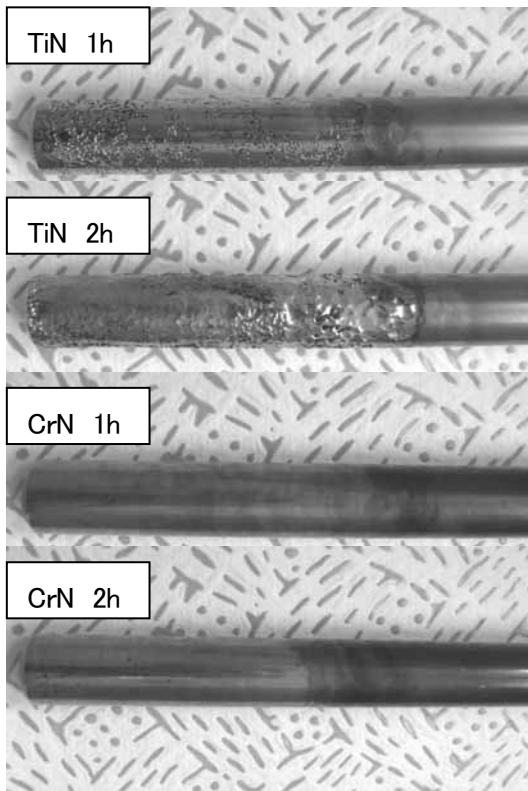


図6 TiN、CrN TPの浸漬部

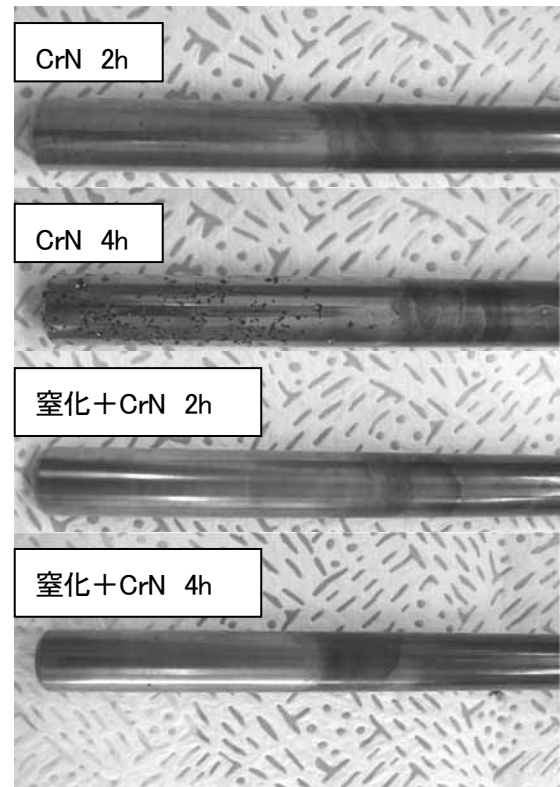


図8 CrN、窒化+CrN TPの浸漬部

【報告】

かにしか見られなかったCrNコーティングであっても、試験時間を4hに延長すると溶損の進行が確認された。一方、窒化処理の上にCrNコーティングを施したものは、4hの長期試験においても溶損量の大きな増加は見られず、耐溶損性が大幅に改善された。試験後のTPの外観観察写真を図8に示す。試験時間4hのCrNコーティング TPの表面には数mm径の穴状の損耗部が全体にわたって点在していた。一方、窒化処理した上にCrNコーティングしたものでは溶損孔の数はわずかであった。

4. 4 溶損メカニズムの解析

コーティングを施したTP について、溶損原因を調査した。試験後のCrNコーティングTPの溶損孔を、デジタルマイクロスコブによって拡大観察した(図9)。表面から見た溶損孔は正円に近い形状をしていた。孔以外の部分ではコーティングが残っていることが確認されるため、素材の腐食が優先的に進行していることが推測される。

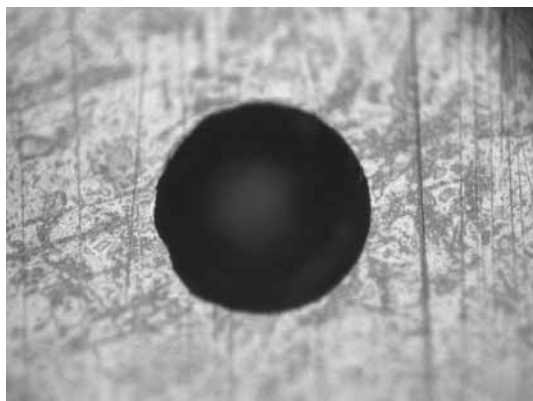


図9 CrN TPの溶損孔拡大写真(×450)

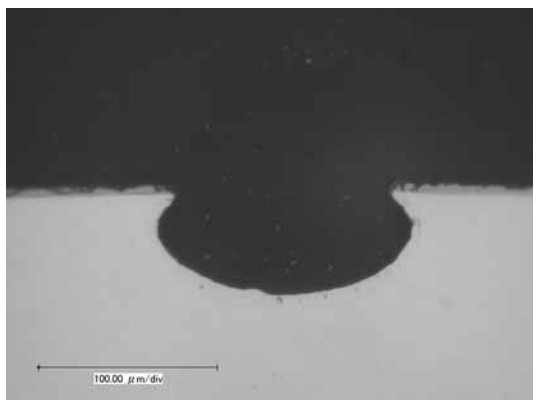


図10 CrN TPの溶損孔断面写真(×1000)

断面方向からの観察画像を図10に示す。断面から見た溶損孔は表面のコーティング部を残して内部が広がっている形状をしていることが確認された。素材の溶損が進行し、支えを失ったコーティングが剥落するというメカニズムで損傷が起きていると考えられる。

溶損孔について、断面からSEMによる観察およびEDSによる組成分析を行った結果を図11に示す。不均一な組織が観察されたA部では、アルミ合金に由来する成分(Al、Si)、金型素材に由来する成分(Fe)に加えて酸素が検出されたため、酸化による組織の脆化が起きていると推察される。素材(C

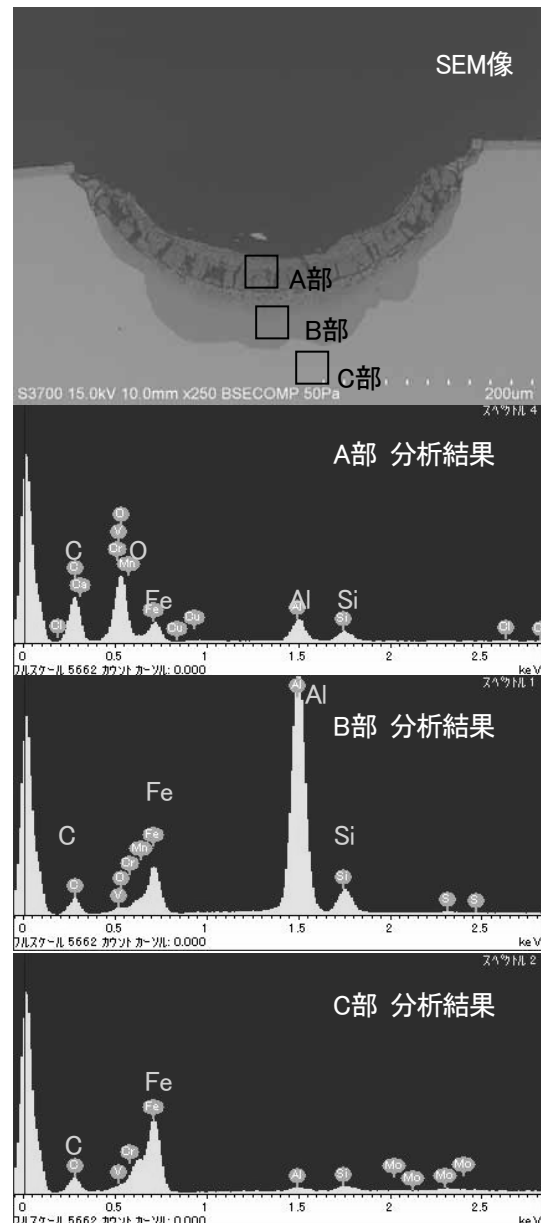


図11 溶損孔のSEM像とEDSスペクトル

部) と色の異なるB部では、Al、Si、Feが多く検出されており、アルミ合金と素材の反応層が形成されていると考えられる。C部では、Fe、Cを主とした素材の成分が検出された。

以上のことから、コーティングを施したTPの溶損メカニズムは以下のように推測される。

1. 起点から入り込んだアルミ合金が基材に到達する。
2. 基材がアルミ合金との化合物を形成、侵食される。
3. 支えを失ったコーティングが剥落し、溶損孔が拡大する。

したがって、耐溶損性の向上のためには、

- ① 欠陥の少ないコーティングを適用する。
- ② 素材とアルミ合金の反応を抑制する下地処理、表面処理を素材に施す。

といった対策が有効であると考えられる。

## 5. まとめ

表面処理とコーティングを複合させることによって、金型部材の耐溶損性を大きく向上できる可能性が示された。また、PVDコーティングを施したTPの場合、溶損はコーティングの欠陥から入り込んだアルミニウム合金が基材と反応することにより進行することが推測された。

本研究は静岡県プロジェクト研究「高耐久性金型のための高度コーティング技術の開発」の一部として、ビヨonz(株)、東洋電産(株)、大昇工業(株)との共同研究により実施した。

## 謝辞

試験方法、観察試料の作製等に関して適切なお助言を頂いた芝浦産業(株)材料分析センターの皆様には感謝致します。

## 参考文献

- 1) 日原政彦：ダイカスト金型の寿命対策，日刊工業新聞社 (2003)
- 2) 真野毅：表面技術，58，18 (2007)
- 3) 田中翔悟、真野毅：静岡県工業技術研究所研究報告，第2号，p133-134 (2009)