

ダイカスト金型用高耐久コーティングの開発

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*
東洋電産株式会社	杉平 力	平松 悟	
ビヨonz株式会社	植松祐介	遠藤浩久	安井和夫
	田中隆義		

Development of Highly-Durable Coating Techniques for Casting Die

Shogo Tanaka, Makoto Takagi, Tsuyoshi Mano,
Chikara Sugihira, Satoru Hiramatsu, Yusuke Uematsu,
Hirohisa Endo, Kazuo Yasui and Takayoshi Tanaka

In order to reduce the cost of repairing or replacing the mold, a method of extending the life of the casting dies is strongly required. In this study, microstructure-controlled PVD coating techniques to improve the durability of aluminum die-casting molds were developed. The practical performance of the developed coating was evaluated using a coated die component intended for use in an aluminum die-casting machine. The result shows that CrN or TiAlN multilayer coating can improve the resistant to erosion of die components.

1. はじめに

ダイカスト法は、熔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。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。

ダイカスト法による製造は、以下のような工程で行われる。

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

溶湯に直にさらされるにも関わらず高い形状精度が必要とされる金型は、熔融金属との反応、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。金型の劣化は生産性を大幅に悪化させるため、ダイカスト金型部材には熔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。

金型の劣化原因の一つである溶損（熔融金属との反応による母材の損傷）を防ぐ手法として、PVD

法（物理気相蒸着法）によるコーティングが注目されている。PVD法の一つであるAIP法（アークイオンプレーティング法）は、真空中でのアーク放電によって固体の蒸発源を蒸発させ、負の電圧を印加した基材上に引きこむことによって膜を形成する手法である。成膜中に窒素ガス等を導入することによって得られる金属窒化物の膜は、高い耐熱性および硬度と、比較的の高い密着性を有し、ダイカスト金型の溶損を抑制するのに適した手法であると考えられる。しかし、AIP法では、基材との密着性の向上や膜自体に存在する欠陥の低減が課題となっていた。本研究では、新成長戦略研究（平成21年度～23年度）として、ダイカスト金型の耐久性を向上させるコーティング技術の開発を行った。コーティングの耐久性についての基礎試験を通じて膜構造および成膜プロセスを改良し、得られた高耐久性のコーティングを施した金型部材についてダイカストマシン実機での性能を確認した。

*）現 工業技術研究所 **）現 機械電子科

2. 実験

2.1 コーティング試験片の溶損試験

図1に示す試験装置を用いて、PVDコーティングした部材の溶損に対する耐久性を評価した。丸棒形状の試験片（SKD61材、φ10mm×100mm）に、マルチアーク成膜装置（日新電機㈱製：M500C-033）によりイオンプレーティング法でコーティングを施した。溶融したアルミ合金（ADC12材）中に試験片を50mm浸漬し、試験片を取り付けた治具を回転させ、所定時間経過後に取り出した。表面に付着したアルミ合金を除去した後に重量測定を行い、溶損量を算出した。溶損試験後の試験片について、デジタルマイクロスコープ（キーエンス㈱製：VHX-100）により観察した。

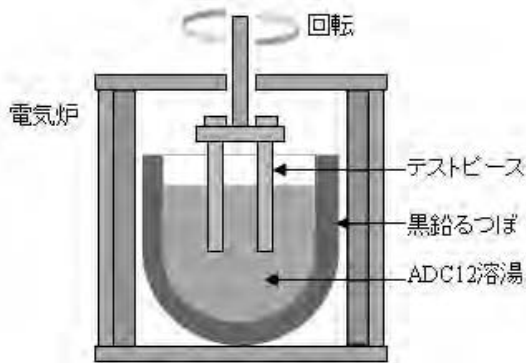


図1 溶損試験装置の概略

2.2 高耐久コーティングの実機試験

実用上の性能を評価するため、SKD61材の鋳抜きピンに多層コーティングを施し、アルミダイカストマシン実機による試験を行った。鋳抜きピンはダイカストのキャビティ部材の中でも特に損耗の激しい部材であり、ピンの損耗の主な原因は溶損である。表面が損傷すると、アルミ合金溶湯の成分がピン表面に凝着する「焼付き」が生じやすくなり、焼付き除去のための作業が頻繁に必要となる。

多層コーティングを施した鋳抜きピン5本（先端の直径約8mm）を金型キャビティ部に取付け、400mm×300mm×60mmの自動車部品を鋳造した。通常の操業条件のもとで鋳造を繰り返し、ピン表面の焼付き除去が必要となった頻度と、使用後のピンの損傷程度を、塩浴拡散処理を施した既存の鋳抜きピン6本と比較した。使用している原料は市販のADC

12材である。

また、ダイカスト製造現場における生産性に与える影響を検証するため、実機金型インサートに多層コーティングを施したものについて実機による鋳造試験を行い、良品率、稼働率等の指標を、窒化処理を施した従来品の使用時と比較した。

3. 結果及び考察

3.1 コーティング試験片の溶損試験

アルミ合金の溶湯温度680℃、試験片の回転速度30rpmで溶損試験を行った結果、単層のAIPコーティングでは、4時間の浸漬後には穴状の浸食が点在する形の溶損が見られた¹⁾。穴の部分を表面から拡大観察すると、その多くは真円状の形状をしており、断面から見ると内部が広がった楕円形の穴が形成されていることがわかった。穴の形状は、表面のコーティングは残りつつアルミ溶湯による母材の浸食が等方的に進行したことを示しており、コーティングした金型部材の溶損は以下のようにして発生、進展することが推測された²⁾。

- ① 初期侵食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し、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。

以上の結果から、AIP法による金属窒化物のコーティングをダイカスト金型の保護膜として使用する際に最大の障害となるのは、コーティング自体に存在する欠陥と、基材の溶損による膜の破壊であり、素材として強い膜であっても、基材に到達するわずかな欠陥が生じれば加速度的に損傷が進展してしまうことがわかった。

コーティング自体の欠陥を大別すると、基材表面の不均一性に起因するコーティングの未着部（ピンホール）と、前述したドロップレットの2種がある。コーティング表面の欠陥の例を図2に示す。

ピンホールは基材表面の介在物や付着物が原因と考えられ、均一性の高い材料の選択や成膜の前処理によって低減が可能であるが、発生を完全に防ぐこ

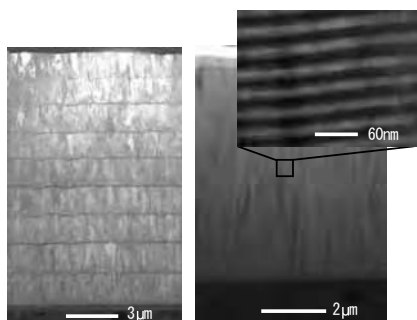
【報告】



図2 コーティング表面の欠陥（一例）

とは困難である。コーティング表面のドロップレットの大きさを走査型電子顕微鏡（SEM）によって観察した結果、直径は最大で数 μm 程度であった。未反応の粒子であるドロップレットは、溶融アルミ合金によって容易に侵食される、もしくは脱落すると考えられ、それらを防ぐためにはコーティングの膜厚を増す必要がある。しかし、AIPコーティングには一般に大きな圧縮の残留応力が存在し、厚膜化すると剥離が生じるなどコーティングの安定性が損なわれる。コーティングの密着性を改善し、膜の耐久性を向上させる手法としては異種の組成を持つ膜を中間層として基材との界面に成膜する手法がある。中間層は、単層コーティングの成膜時にも用いているが、溶損試験において早期に基材の損傷が確認されており、耐久性は不十分であった。これらの問題を解決するためには、コーティング自体を多層構造とすることが有効であると考えた。

検討の結果、溶損に強い膜構造としてCrN系多層膜およびTiAlN系多層膜の2種の多層コーティングを見出した。これらのコーティングは、CrNおよびTiAlNを構成要素として異種の組成を持つ膜を周期的に積層した構造を持っており、10 μm 近い膜厚を持っている（図3）。

図3 多層コーティングの断面TEM像
（左：CrN系多層膜、右：TiAlN系多層膜）

多層コーティングを施した試験片について、単層膜の場合と同様に図1の装置を用いて溶損試験を行った結果、2時間の浸漬では溶損はほとんど見られなかった。12時間浸漬しても溶損量はCrN系多層コーティングが0.061g、TiAlN系多層コーティングが0.130gであり、多層化によって溶損は大幅に低減された。アルミ合金の溶湯温度720 $^{\circ}\text{C}$ 、試験片の回転速度60rpmと、条件を過酷化して8時間の浸漬試験を行った結果、市販のアルミダイカスト金型用コーティングと比較して溶損量が少なく、高い耐溶損性を示した（図4）。

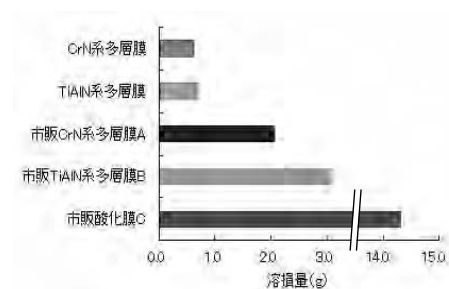


図4 市販ダイカスト金型用コーティングとの溶損量比較

3.2 高耐久コーティングの実機試験

鋳抜きピンによる実機試験の結果、CrN系多層コーティング、TiAlN系多層コーティングはどちらも、同時に使用した既存品に比べて焼き付き除去の回数は大幅に少なかった²⁾。多層コーティングは既存品に比べて焼き付きを生じにくく、実機における使用時にメンテナンス回数を削減できることがわかった。

CrN系多層コーティングを施した金型インサートによって5万ショットの鋳造を行う実機試験を行い、その間の生産性を既存の窒化処理を施したインサートを使用した場合と比較した。JIS Z8141 生産管理用語において定義されている「設備総合効率」を生産性の指標とした。時間稼働率、性能稼働率および良品率を掛けあわせて得られる設備総合効率の違いを評価した。CrN系多層コーティングを施したインサートを使用した場合、窒化処理を施した従来のインサートの場合に比べて時間稼働率が4%、良品率が4%向上し、設備総合効率において7%の改善が見られた（表1）。

表1 既存処理との生産性比較

	時間稼働率	性能稼働率	良品率	設備総合効率
窒化処理	80%	97%	90%	70%
CrN系多層コーティング	84%	97%	94%	77%

4. まとめ

アルミ合金溶湯による溶損に対するPVDコーティングの耐久性評価を通して、膜の損傷メカニズムを解明し、アルミダイカスト金型の耐久性を向上させる多層コーティングを開発した。また、ダイカストマシン実機によって多層コーティングの耐久性および生産性に与える影響を評価し、実用上の効果を検証した。

今後の展開として、溶損、焼き付き等に対する耐久性をさらに向上させる膜構造の検討を行っている。

【報告】

また、本コーティング技術はダイカスト金型以外にも耐食性と耐摩耗性がともに要求される用途では部材の寿命延長に大きな効果が期待できる。

本研究は、静岡県新成長戦略研究「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)との共同研究により実施した。

参考文献

- 1) 田中翔悟他：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，静岡県工業技術研究所研究報告，第3号，73-77（2010）。
- 2) 田中翔悟他：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（第2報），静岡県工業技術研究所研究報告，第4号，125-128（2011）。