

研究部会紹介

アルミニウム溶解炉における複合酸化物の異常生成研究部会

Introduction of the sectional meeting on abnormal growth of complex oxide in aluminum melting furnace

茂木 徹一*
Tetsuichi MOTEGI*

1. 当部会発足の経緯

当研究部会の起源は、過去の研究委員会の中に設けられた鑄造凝固部会にさかのぼる。「健全な鑄塊や鑄物を作るには」を命題として、100回を超えて開催されたかつての部会は、平成8年学会法人化による研究委員会の運営方針の改変で、大きな目的を達成して終了した。終了当時の部会では、アルミニウム鑄塊中の介在物の生成挙動とそれに伴う製品欠陥および評価法について検討がなされた。その成果として部会報告書「アルミニウム中の介在物の生成挙動と欠陥事例集」(研究部会報告書No. 29, 1995年9月)が刊行され、同時に新制度の下でも鑄造凝固に関する部会を継続させる必要があるのでは、と多くの委員から意見が出され、検討の結果、アルミニウム溶解炉での溶湯と耐火物の反応について知見を得ることが重要であるとの意見がまとまった。

上記の製品欠陥事例集は介在物の基礎的事項の理解に主眼を置いた内容であり、新しい部会では、現場でしばしば問題になっている事項に焦点をあてることとし、「アルミニウム溶湯と耐火物の反応研究部会」として平成10年度に承認され、3年間の時限付の自主運営方式として発足した。

部会の目的は、鑄塊製造時の介在物の混入あるいは耐火物との反応による溶湯汚染および溶解炉や種などの耐火物の浸食や欠損などについて、現場で起こる問題の理解を深めるためであった。そして共同研究を通して、各種耐火物によるアルミニウム溶湯汚染挙動の定量的把握や促進評価試験法を用いた各種炉材用耐火物によるアルミニウム溶湯汚染度の定量的比較を行った。その成果を部会報告書として、「耐火物によるアルミニウム溶湯の汚染挙動と評価法」(研究部会報告書No. 42, 2003年6月)を刊行した。

その後もアルミニウム溶湯の汚染挙動の問題は、素材の高品質化、すなわち溶湯の品質管理が厳しくなるに従って、ますます重要性を増したことから、部会の期間終了とともに、新しい部会「アルミニウム溶湯と不定形耐火物の反応研究部会」を研究委員会に申請し、平成16年に発足した。この部会では、耐火物メーカーからも委員に加入していただき、活動を開始した。

その内容は、実機炉で使用されるアルミナ-シリカ系不定形耐火物を対象とし、溶湯汚染挙動に及ぼす耐火物原料や組成(骨材アルミナ種類、シリカ量)の影響を系統的に調査し

た。また溶湯汚染を抑え、耐火物の浸食も抑えられるとの報告があるNon-wetting剤の効果についても調査し、汚染抑制メカニズムを検討した。

その結果、骨材アルミナの影響では、4N-アルミニウム溶湯の汚染はSiのみが微量認められたが、Al-5%Mg溶湯では汚染が顕著で、SiのほかにFe, Ti, Caの汚染も認められた。シリカ超微粉添加量の影響では、4N-アルミニウム溶湯では、耐火物中のSiO₂含有量がおおよそ10%以上になると、Si汚染が少し認められた。Al-5%Mg溶湯では、SiO₂含有量が5%以上で汚染が認められ、その量は4N-アルミニウム溶湯の場合と比べ、50~200倍程度と非常に多かった。また、気孔率が小さいほど溶湯汚染量が増加する傾向が認められた。これはSiO₂添加量が増加するほど、気孔率が減少するためであり、溶湯汚染に対してSiO₂量が支配的であった。Non-wetting剤添加の影響では、Ba系のBaSO₄を添加した場合、5%以上添加により、溶湯汚染および耐火物浸食の抑制効果が発揮された。このことはホワイトアルミナ、ポーキサイトのいずれのアルミナ原料を使用しても同様であった。ふっ化物系のAlF₃を3%以下添加した場合、溶湯汚染や耐火物浸食が助長され、とくに1.5%AlF₃の添加で最も悪化した。溶湯汚染は耐火物気孔径と密接な関係が認められ、BaSO₄とAlF₃添加のいずれも、平均気孔径が小さくなるほど溶湯汚染量も少なくなることが明らかとなった。部会はこれらの成果報告書「アルミニウム溶湯の汚染挙動に及ぼす不定形耐火物組成の影響」(研究部会報告書No. 48, 2006年12月)として刊行した。

終了に際して、耐火物とアルミニウム溶湯との反応性には、耐火物との濡れ性や気孔径が影響することが知られているものの、定量的評価に関する情報がないことから、平成19年度に新部会として「アルミニウム溶湯による耐火物浸食機構研究部会」を発足させた。共同研究では、Al-Mg合金溶湯に適した濡れ性評価法の確立および各種Al₂O₃系耐火物の濡れ性の定量化をはかることを目的とした。具体的には、溶湯汚染に影響する因子として濡れ性および気孔径について、溶湯汚染に顕著な差が認められたホワイトアルミナ+7.5%SiO₂およびこれに10%BaSO₄を添加した2種類の不定形耐火物を基板に選び、Al-5%Mgおよび4N-アルミニウム溶湯との濡れ性を静滴濡れ試験により評価した。また、気孔径の測定には水銀圧入法を用いた。

*千葉工業大学名誉教授 (〒274-0805 千葉県船橋市二和東)。Professor Emeritus, Chiba Institute of Technology (Futawahigashi, Funabashi-shi, Chiba 274-0805).

受付日:平成26年2月3日

接触角の測定結果では、Al-Mg 溶湯に対してBaSO₄の添加の有無による接触角の明確な差はなく、濡れにくくなる効果は認められなかった。BaSO₄添加による溶湯汚染の低下は耐火物の気孔径が小さくなり、溶湯浸透抑制および反応抑制効果が働いた結果であり、Non-wetting 剤のAlF₃は耐火物を細孔化せず、濡れにくくなる作用が働き、溶湯との反応を抑制していることが推測された。その成果を「Al-Mg 合金溶湯と硫酸バリウム添加耐火物の濡れ性および反応性（研究部会報告書No. 53, 2010年12月）」として刊行した。

以上、過去の耐火物とアルミニウム溶湯の反応に関する各部会について経緯を述べたが、部会の回数を重ねるほど各委員から、現場でのいろいろの問題が提起され、この分野での解決すべき課題が多いことがわかった。

2. 当部会の紹介

ここで紹介する平成23年12月に発足した「アルミニウム溶解炉における複合酸化物の異常生成研究部会」は長い名称であるが、炉内において異常成長する複合酸化物が現場で「オバケ」と呼ばれているので、当部会の通称は「オバケ部会」である。

「オバケ」とは、しばしばアルミニウム溶解炉や保持炉において、溶湯と炉壁耐火物そして雰囲気との接する界面で生成し、異常成長する複合酸化物、とされている。これが生成すると、炉壁耐火物の寿命の低下や操業時の熱損失の増加、さらに溶湯と耐火物の反応に伴う溶湯汚染など重要な問題を引き起こすことから、その抑制に有効な耐火物や操業条件の改善が望まれている。

そこで当部会はオバケの実体を把握するために、実機炉から得られたサンプルを解析・考察して、最終的には生成メカニズムを明らかにするとともに、抑制防止に有効な耐火物の組成、炉の構造および操業条件などの知見を得ることを目的としている。具体的には以下の事項を行う計画である。

(1) オバケに関する過去の国内外の文献を精査して、生成に関する不明な点を抽出すること。

(2) 実機炉の定期点検や補修期間に、炉からオバケを採取し、分析するとともに、操業条件との関係を調べ、実体を把握する。とくにオバケが発生した状況での、メタルレベルやバーナなどの位置関係を確認すること。

(3) 実機炉では、操業条件がそれぞれ異なるために、採取したオバケサンプルの実体がかみにくいことから、単純化したラボ実験を小型炉で行い、生成メカニズムを解明すること。

3. 委員会メンバー

表1は平成26年1月現在の部会委員名簿である。学界側委員が現状3名と少ないので、興味のある方は中途からでも参加を歓迎している。富山大学名誉教授 穴田 博委員は活動中であったが、残念ながら平成24年11月に逝去された。

4. 部会活動の進捗状況

前記3項の各計画についての現在までのおもな活動は

(1) 文献調査

収集した文献数は多くないが、調査した結果、Al-O系、Al-Mg-O系、Al-Si-O系など種々のオバケについて研究され

表1 委員名簿

氏名	所属	備考
茂木 徹一	千葉工業大学	部会長 幹事 幹事
森下 誠	(株)神戸製鋼所	
高橋 功一	(株)UACJ	
石塚 道雄	ロザイ工業(株)	
石渡 保生	日本軽金属(株)	
牛込 伸一	東京モーレックス増埜(株)	
大城 直人	(株)大紀アルミニウム工業所	
加藤 鋭次	元 名古屋大学	
猿渡 勝輝	(株)トウネツ	
田村 洋介	千葉工業大学	
津田 浩人 (元木 英二)	AGC プライブリコ(株) (2013.3.28 交代)	
成島 孝宏 (谷 真一)	(株)UACJ (2012.6.1 交代)	
野田 和也	AGC セラミックス(株)	
藤井 博 (梶野 仁)	三井金属鉱業(株) (2013.9.11 交代)	
村上 歩	三菱アルミニウム(株)	

平成26年1月現在 () は交代前委員

ているものの、合金種、耐火物、溶解温度などがそれぞれ異なり、系統的な研究が少ない。そのためオバケ生成のメカニズムは不明な点や疑問点が多い。

(2) 実機炉から採取したオバケサンプル

- ① Al-Mg系について、ZrSiO₄質耐火物溶解炉にて発生
- ② Al-Mn系について、ZrSiO₄質耐火物溶解炉にて発生
- ③ Al-Mg系について、Al₂O₃質耐火物溶解炉にて発生
- ④ 複数種の合金について、Al₂O₃質耐火物溶解炉にて発生
- ⑤ ADC12について、ダイカスト用溶解炉にて発生

これらのうち、操業条件および採取位置の明瞭なオバケサンプルを選択し、外観、破面、断面マクロ組織観察および光学顕微鏡、SEMによるミクロ組織観察、X線回折、EPMA等による解析を実施中である。総じて、オバケは燃焼用バーナ下のメタルライン付近の、温度が約1200°Cの高温になる位置で発生しやすい傾向にある。

(3) ラボ実験

文献調査および実機炉から得られた情報にもとづいて、ラボスケールにおいて、オバケを人工的に得て解析するためにAl₂O₃-SiO₂製の小型るつぼを作製し、Al-5%Mg合金を高温溶解した後、所定温度での合金溶湯保持を繰返す実験を現在進めている。

5. おわりに

高品質のアルミニウム製品を製造するための初期段階での溶解・ casting プロセスにおいて、溶解炉・保持炉などでの耐火物と溶湯の反応やそれによる酸化物等の生成メカニズムを正しく把握し、清浄度の高い溶湯を得ることはますます重要であることは言うまでもない。

今後も当部会の目的を達成するため、発展的に推進してゆく所存であるので、研究委員会をはじめ会員各位からのご指導ならびにご助言をお願いしたい。