氏名・（本籍）	園田　正樹　（　大分県　）	
学 位 の 種 類	博 士（　工学　）	
学 位 記 番 号	生工博甲第　３０５　号	
学位授与の日付	平成　２９　年　１２　月　２７　日	
学位授与の条件	学位規則第４条第１項該当	
学 位 論 文 題 目	難燃性マグネシウム合金溶解時のステンレス鋼容器からの鉄混入抑制	
論文審査委員会	委員長	准教授　高嶋　一登
		教　授　宮崎　敏樹
		准教授　飯久保　智
		教　授　恵良　秀則

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

マグネシウム合金製品を製造する際の最大の問題点は、溶解時にマグネシウムが非常に燃えやすいということである。本論文では、Ca を添加することで発火温度を上昇させた燃え難い（難燃性）マグネシウム合金が取り上げられている。この合金は、大気中で、しかも従来より高温での溶解が可能であるため溶湯の流動性が増し、設備が複雑で高価なダイカスト鋳造ではなく、簡素で低コストの重力鋳造でも薄肉製品を製造できる長所がある。一方で、高温での溶解は、溶解るつぼ用材料であるステンレス鋼からの不純物の混入が懸念される。そこで本研究は、高温でのステンレス鋼るつぼを使用した難燃性マグネシウム合金溶解時の成分変化（主に鉄）、混入した鉄の濃度と耐食性の関係および鉄の混入プロセスを調べ、有効な混入対策を提案することで、難燃性マグネシウム合金の事業拡大に寄与することを目指している。全研究を通じて、鋳造用合金である AZX912（Mg-9mass%Al-1mass%Zn-2mass%Ca）難燃性マグネシウム合金が使用されている。

第１章では、上記のことが序論として述べられている。

第２章では、ステンレス鋼製溶解るつぼおよび砂型を使用し、通常より 100℃ほど高温の 730℃にて AZX912 の繰り返し溶解・鋳造が行なわれ、元々合金に含まれている成分および混入した不純物の濃度変化が調べられている。その結果、Al、Ca など合金成分については、ほぼ元の濃度のまま変化はみられないが、Si や Fe など不純物濃度が増大することを確認している。鋳造時に砂型から混入したとみられる Si は、繰り返し回数に合わせて濃度が直線的に増大するため、実操業ではリサイクル材の使用回数に注意すれば、製品として問題となる濃度まで増大しないとしている。一方 Fe については、高温溶解では一度の溶解・鋳造でも製品仕様を満たさなくなるほど Fe 濃度が増加する

ことを明らかにしている。

第３章では、２章の結果を踏まえて Fe に着目し、ステンレス鋼製るつぼ中での AZX912 合金の溶解実験より、合金中に混入した Fe の濃度に及ぼす溶解温度の影響、および Fe 濃度と合金の耐食性の関係を調べている。その結果、高温の 730℃では保持時間の増加に伴い Fe 濃度は 100ppm を越えること、その濃度に達すると合金の耐食性は著しく低下することを確認している。合金中では、Fe は Al と Mn との化合物とみられる相に濃化していることを見つけ出し、この化合物への Fe の濃化が進むほど腐食電位が高くなり、周囲のマグネシウム基地との電位差が大きくなることで耐食性が低下すると考察している。したがって、高温溶解は溶湯の高い流動性が得られることで鋳造の観点からは有益ではあるが、Fe の混入に対して何らかの対策を施す必要があると結論づけている。

第４章では、ステンレス鋼容器から AZX912 溶湯中に Fe が混入するプロセスについて調べている。730℃での加熱実験後のステンレス鋼容器表面には、Fe の酸化物および Fe と Cr の酸化物の存在を確認している。これらの化合物中の Fe 酸化物が AZX912 溶湯中の Mg により還元され、Fe が溶湯に混入することを熱力学的に考察している。

第５章では、４章までの結果をもとに、ステンレス鋼容器表面にアルミナイズド処理またはカロライズ処理を施すことで AZX912 溶湯とステンレス鋼とが接触しない条件下での溶解実験が行われている。その結果、730℃で９時間という長時間の高温溶解でも合金中の Fe 濃度はほとんど増加しなかったが、溶湯と接触する処理層表面の荒れが確認されている。また、表面処理ステンレス鋼板単独の加熱冷却繰り返し試験を行い、表面処理層に若干のひび割れの拡大が確認されている。したがって、どちらの表面処理とも Fe の混入抑制効果はあるが、効果の恒久的な持続は期待できず、再処理または交換の時期を見極めることが重要になるとしている。

第６章では、５章に加えて、プラズマイオン窒化処理または部分安定化ジルコニア溶射処理を表面に施したステンレス鋼容器で AZX912 合金の溶解実験を行っている。その結果、730℃で９時間の溶解でも合金中に Fe はほとんど混入しておらず、またそれぞれの表面処理層には剥離も損傷も確認されていない。これらの表面処理層は、加熱冷却の繰り返しによる熱衝撃にも全く問題点は生じていない。ただし、実験後のプラズマイオン窒化処理鋼板の表面には鉄酸化物が確認されたため、継続使用した場合、合金中に Fe が還元混入する可能性が考えられる。５章の結果も含めて、Fe 混入抑制のためには、ジルコニア溶射処理が最も有効であると結論している。

第７章は、本論文の総括であり、高温溶解時にステンレス鋼容器から混入する Fe が難燃性マグネシウム合金の耐食性を低下させることを明らかにし、表面処理を施すことで高温溶解・鋳造時の難燃性マグネシウム合金への Fe の混入抑制が期待できるとまとめている。

マグネシウム合金製品は、その軽量さゆえに広く使用されるようになってきている

が、本研究は、その溶解・鋳造に関して新しい知見を提供するものであり、溶解設備および鋳造設備の簡素化、ひいては省資源、省エネルギーに大きく貢献するものと考えられる。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文に対して、論文審査委員から「溶解るつぼにニッケルを含まないステンレス鋼を使用した理由」、「不純物としてケイ素が合金中に混入した原因」、「合金の鉄濃度が 100ppm を越えると腐食速度が増加した理由」、「表面処理鋼板を溶融合金に長時間浸漬させた理由」等について種々の質問があったが、いずれも著者によって適切な回答がなされ、質問者の理解が得られた。また、公聴会においても、多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。