

氏 名	小 菅 張 弓 こ すげ はる み
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1309 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	アルミニウム合金中における金属間化合物の挙動に関する研究

(主 査)
論文調査委員 教 授 村上陽太郎 教 授 高村仁一 教 授 水野政夫

論 文 内 容 の 要 旨

アルミニウム中の不純物元素や合金元素は固溶状態の外に金属間化合物として存在しているが、近年 DC 鑄造（直接水冷半連続鑄造）を始め種々の冷却速度の速い造塊方式の発達にともなって、鑄造時に形成される金属間化合物の挙動が注目されている。本論文はこのような金属間化合物の挙動を金属組織学的に研究した結果をまとめたもので、9 章からなっている。

第 1 章は緒論で、従来の研究を総括して本研究の方針を述べている。

第 2 章では、DC 鑄造によって製造された Al-Fe、Al-Fe-Si および Al-Mg-Fe-Si 系合金鑄塊にしばしば見られる「縦ノ木組織」と呼ばれるマクロ組織の生成機構を究明し、 Al_3Fe 、 Al_6Fe および Al_mFe の 3 種類の金属間化合物がそれぞれの冷却速度範囲で生成し、それらの陽極酸化特性、エッチング特性が異なることを明らかにし、DC 鑄造時の冷却速度が鑄塊表面から内部へ変化するため金属間化合物 Al_6Fe の巨視的な偏在が起こり、これが発生の原因であることなどを見出した。

第 3 章では、Al-Fe-Si および Al-Mg-Fe-Si 系合金における縦ノ木組織の生成に及ぼす Fe、Si、Mg 量の影響を検討し、前者では、その発生は Fe/Si の重量比によって支配され、その比が 2 以上になると発生すること、後者では Fe/Si 比の外に Mg 添加によってその発生が抑制されることなどを明らかにした。

第 4 章では縦ノ木組織は鑄塊の加熱によって準安定相 Al_6Fe は安定相 Al_3Fe に変化するため消滅することを実証し、その変化過程として、 Al_6Fe がその場所で変態する場合と Al_6Fe が地に溶け込み、 Al_3Fe として不均一核生成する二つがあること、消滅過程の活性化エネルギーは約 75 kcal/mole で、この値から Al_6Fe の地への固溶過程が消滅を律速することなどを明らかにした。

第 5 章では、工業用純 Al 中の Fe および Si の凝固時の挙動を解明するため、Al-Fe および Al-Fe-Si 系合金を、広範囲の冷却速度で鑄造して検討し、固溶量、金属間化合物の種類及び量の冷却速度依存性を明らかにした。またこれらの結果を用いて Al 合金の鑄造に使用されているハンター・エンジニアリング連続鑄造、圧力ダイカスト、DC 鑄造、プロペルチ連続鑄造、重力鑄造、シエルモールド鑄造などの各種

の鑄造方法で製造される鑄塊中の Fe 固溶量および生成すべき化合物の種類を推定することを可能にした。一方デンドライトアーム間隔 $D(\mu\text{m})$ と冷却速度 $C(^{\circ}\text{C}/\text{sec})$ との間に $D \times C^{0.33} = 33.4$ なる関係式が成立することを示した。

第6章では、Al-0.6% Fe 合金を基として、それに溶接用 Al 合金の主要添加元素である Mg, Zn, Si などを添加した合金を溶接した場合の溶着金属内の Al_6Fe , Al_mFe , AlFeSi の化合物の挙動を究明している。一般に溶接部は $20\sim 90^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ の冷却速度で急冷凝固されること、生成する化合物は Al-0.6% Fe 合金では Al_6Fe , Al-0.6% Fe-0.2% Si 合金では Al_6Fe と少量の $\alpha\text{-AlFeSi}$, Al-4.5% Mg-0.6% Fe 合金ならびに Al-4.5% Zn-1.5% Mg-0.6% Fe 合金では Al_mFe であることなどを明らかにした。

第7章は Al-Fe 系合金を急冷凝固した場合に生成する準安定相 Al_6Fe および Al_mFe の高温加熱時の安定相 Al_6Fe への変態過程を X 線回折法で速度論的に研究した結果で、とくに地への固溶と不均一核生成が主過程であることなどを実証した。

第8章は溶接構造成用 Al-Zn-Mg 合金押出性および押出材の性質に間する金属間化合物の挙動の研究で、Si を添加し、均質化処理条件を制御することによって、熱間変形抵抗を大きくする固溶 Mg を Mg_2Si 化合物として析出させれば押出圧力を著しく低下させ得ること、一方 Si 添加は遷移元素の析出を促進してその微細化と均一化に寄与すること、強度は $2\sim 4\text{ kg/mm}^2$ 低下するが問題にならないこと、さらに押出材の耐応力腐食割れ性が著しく向上することなどを見出し、この方法は工業的に価値が大きいことを示した。

第9章は本論文の総括である。

論文審査の結果の要旨

近年 DC 鑄造（直接水冷半連続鑄造）などの冷却速度の速い鑄造方式の発達にともなって、鑄造凝固時に形成される金属間化合物の挙動が注目されている。本論文はアルミニウム中におけるこのような金属間化合物の挙動を金属組織学的に研究した結果をまとめたもので、主な成果を要約すると次のとおりである。

(1) Al-Fe 系合金を急冷凝固した場合には安定平衡相 Al_3Fe の外に準安定相として、 Al_6Fe および Al_mFe がそれぞれに特有な冷却速度範囲で生成することを見出し、次にこれらの2つの準安定相は高温加熱によって安定平衡相に変態することを X 線回折法で明らかにし、とくに Al_6Fe の変態では、その場所に変態する場合と地に一旦溶解した後 Al_3Fe として不均一核生成する場合とがあること、これらの拡散過程の活性化エネルギーが約 75 kcal/mole と求められたことから、 Al_6Fe の地への固溶過程が変態反応を律速することなどを示した。

(2) DC 鑄造によって製造された Al-Fe, Al-Fe-Si および Al-Mg-Fe-Si 系合金鑄塊にしばしば見られる「樅ノ木組織」と呼ばれるマクロ組織は、鑄造時の冷却速度が鑄塊の表面から内部へ変化するため、 Al_6Fe の巨視的な偏在が起これ、その陽極酸化およびエッチングの特異性によって発生することを実証した。また高温加熱による Al_6Fe の Al_3Fe への変態によって樅ノ木組織を消滅させ得ることを明らかにした。一方その生成に及ぼす Fe, Si, Mg 量の影響を究明し、Al-Fe-Si 系合金では Fe/Si の重量比が2以上になると発生すること、Al-Mg-Fe-Si 系合金では Mg 添加によってその発生が抑制されることなど

を見出した。

(3) 冷却速度を広範囲に変化させて鋳造した工業的純度の Al 鋳塊を用いて研究を行い、Fe 及び Si の固溶量、生成する金属間化合物の種類及び量の冷却速度依存性を明らかにした。またこれらの結果を用いて各種の実際的な鋳造方法で製造された鋳塊中の Fe の固溶量及び生成すべき化合物の種類を推定を可能にした。

(4) 溶接構造用 Al-Zn-Mg 合金の押出圧力は、Si の添加と均質化処理条件の制御によって、熱間変形抵抗を大きくする固溶 Mg を Mg_2Si 化合物として析出させれば、著しく低下することを示し、押出性改善方法を開発した。さらに Si の添加は遷移元素の析出を促進して析出粒子の微細化と均一化に有効に作用し、また押出材の耐応力腐食割れ性の向上にも寄与することなどを示した。

以上要するにこの論文は、鋳造凝固の際にアルミニウム合金鋳塊中に形成される Al-Fe 金属間化合物の種類及び量の冷却速度依存性、準安定相から安定平衡相への変態過程、縦ノ木組織と呼ばれるマクロ組織の生成と消滅の機構など、金属間化合物の挙動と諸性質に及ぼす影響について多くの新しい知見を与え、また金属間化合物の制御による溶接構造用合金の押出性向上法を見出すなど工学上、学術上寄与するところは少なくない。

よって、この論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。