

吉田誠研究室

研究成果紹介①

Al-Mg系合金における金属間化合物相が凝固割れ感受性に及ぼす影響

1. 緒 言

Al-Mg系合金は熱処理不要かつ高延性であるため車体部品の材料として有力である。しかしながら、Al-Mg系合金を用いた製造において問題が2点ある。1点目は、凝固割れの発生である。従来用いられてきたAl-Si系合金と比較して凝固割れ感受性が高い。2点目は、リサイクル材による車体製造である。新塊Al材の生産時に膨大な電力コストがかかるため、リサイクルAl材を用いた製造が求められている。しかしながら、リサイクルAl材にはボルトやナットなどのFeを主元素とする締結部品がしばしば混入する。以上の2点より、Feを添加した際に低凝固割れ性を有するAl-Mg系合金の開発が求められる。

本研究では、Al-4.5Mg-1.0Mn-0.2Si-0.08Ti-0.016Bを母合金とし、Fe量を0.1 mass%, 0.4 mass%と変量して、凝固割れ感受性に及ぼす影響を調査した。その結果として、Fe増量に伴い凝固割れ感受性が増加した。さらに、Fe増量に伴い粒界での晶出量が増加する金属間化合物相に着目し、凝固割れ感受性と半凝固状態の力学特性への影響のメカニズムの解明を行った。

2. 実験方法

本研究で用いたFe量を変量した2種のAl-Mg系合金の合金組成を表1に示す。I-beam試験装置を行い、凝固割れ感受性を実験的に取得した。一方、半凝固状態の力学特性の取得にあたって、半凝固状態の強度、延性を連続的に取得可能な雄谷法半凝固引張試験装置を用いた。各試験で取得した試験片の破面、研磨面においてそれぞれ組織観察を行った。

表1 供試合金組成 (mass %)

	Mg	Mn	Fe	Si	Ti	B	Al
0.1Fe	4.47	0.99	0.09	0.20	0.08	0.016	Bal.
0.4Fe	4.51	1.00	0.39	0.20	0.08	0.016	Bal

3. 実験結果

図1にFe量とHTSの関係を示す。Fe増量に伴い、凝固割れ感受性が増加する事が示された。半凝固状態の強度はFe量の変化に関わらず変化が見られなかった。一方、図2に示すように、固相率0.92以上の温度(490~510℃)において、Fe量を増加すると半凝固状態の延性が比較的低い値を示す事が明らかになった。500℃での各組成の引張

試験片の破面組織を図3に示す。Fe量に関わらず、金属間化合物相が晶出していたが、0.4 mass% Feの破面において、板状の化合物相が多く見られた。

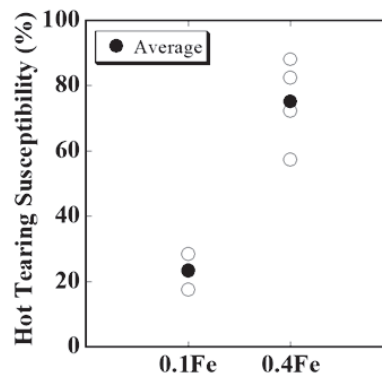


図1 Fe量と凝固割れ感受性の関係

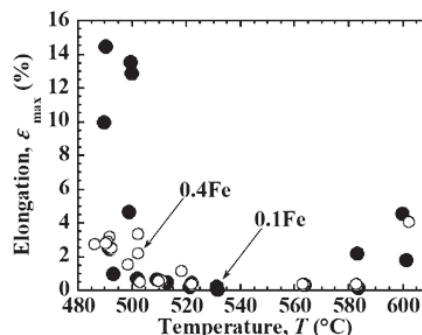


図2 半凝固状態の延性

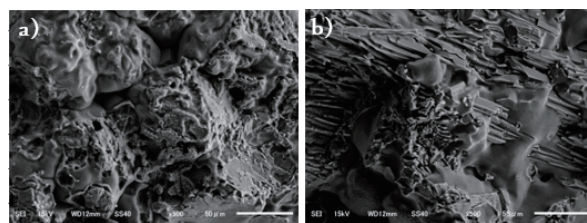


図3 引張試験片の破面組織 a) 0.1Fe b) 0.4Fe

4. 結 言

本Al-Mg系合金においてFe量を増加すると凝固割れ感受性が増加することが実験的に明らかになった。さらに、Fe量の増加に伴い半凝固状態の延性が低下する事が示された。延性低下に伴い、凝固過程で粒界に晶出する金属間化合物相の形状がChinese-script状から板状構造に変化した事が考えられる。これらのことから、Fe増量に伴い晶出した板状の金属間化合物相が半凝固状態の延性を低下させる事で、凝固割れ感受性が増加した事が示唆された。

研究成果紹介②

低応力一面せん断試験による生砂型の静水圧依存性を考慮可能な Mohr-Coulomb 構成式の構築

1. 緒 言

砂型鑄造において、鑄物の肉厚差が原因で鑄造時に冷却速度に差が生じ、残留応力や変形が発生することが問題となっている。近年では、FEMを用いた熱応力解析を実施することで、設計時から予め変形や残留応力を予測し、対策が取れるようにすることが期待されている。本研究では、生砂型による鑄物の熱収縮の拘束を考慮した解析を行うことを目的とし、生砂型の Mohr-Coulomb 構成式を構築する。この構成式を用いて生砂型の力学特性を取得して解析に組み込み、実際の鑄造実験の結果と比較を行った。鑄造時の生砂型に作用する静水圧の大きさを考慮し、従来より低応力での試験および Mohr-Coulomb 構成式の構築を行った。

2. 一面せん断試験の概要

Mohr-Coulomb 構成式の構築を行うために、片島らの試験方法・装置を参考に、一面せん断試験装置を開発し、試験を行った。垂直応力を変量させながら、試験片がせん断破壊したせん断応力の関係を求めることで、Mohr-Coulomb 構成式を構築した。本研究で使用した実験装置の概略図を図1に示す。また、この装置にはせん断箱にヒーターが取り付けられているため、室温だけでなく高温下での実験にも使用可能である。

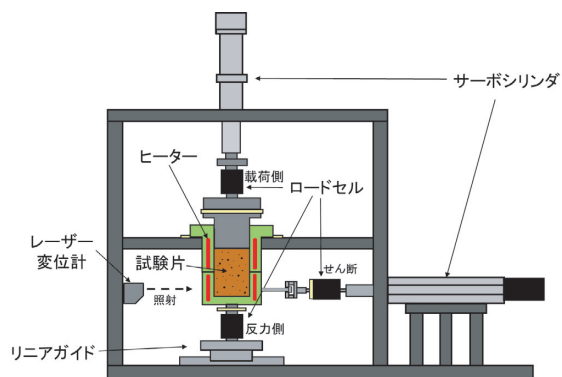


図1 一面せん断装置

3. 一面せん断試験結果

従来文献・規格等を参考し実験条件を決定した。垂直方向の加圧は3種類として実験を行った。また、試験片とせん断面内との間で発生する摩擦により載荷側と反力側の垂直応力に差が生まれる。大島らの研究を参考に反力側応力がせん断面の垂直応力であると考え実験結果を整理した。図2に代表的な一面せん断試験結果を示す。

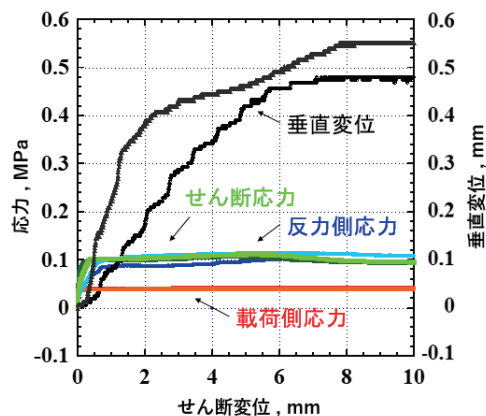


図2 室温での一面せん断試験結果

4. 強度包絡線

室温試験片で行った一面せん断試験で取得した力学特性値を用いて Mohr-Coulomb 構成式の構築を行った。その構成式を以下の図3に示す。この結果から高い応力常態で作成した強度包絡線よりも内部摩擦角、粘着力が低下することが確認された。

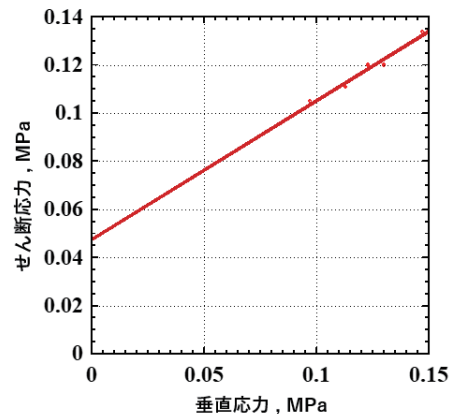


図3 強度包絡線

著書・論文

Y. Nagata, K. Kato, T. Shishido, A. Tsuchiya, S. Kitaoka, N. Oshiro, N. Nishi, N. Nonaka, T. Koike, T. Oike, K. Hayashi, H. Kambe, T. Okane, K. F. Muhammad, & M. Yoshida Development of High-Ductility and Low-Hot-Tearing-Susceptibility Non-heat Treatment Al-Mg-Mn-Based Die Casting Alloy for Automotive Structural Parts 2024 1 月, In: International Journal of Metalcasting. 18, 1, p. 46-59, 14p.
Y. Okimura, R. Imamura, K. Shimo, T. Hanai, Y. Kato, K. Hashimoto, M. K. Faiz, T. Okane, T. Miyashita, & M. Yoshida Experimental Construction and Validation of Revised Drucker-Prager Model Using Finite Element Method for Moisture Condensation Zone in Bentonite-Bonded Silica Sand 2024, (Accepted/In press) In: Journal of Materials Engineering and Performance.
平野 椋己, 尾崎 祥梧, 永田 益大, 松下 彬, 坂本 敏夫, 折尾 寛太, 沖村 泰彦, 岡根 利光, ムハマド ハイリ ファイズ, 吉田 誠 Al-2%Si 合金の共晶凝固過程における力学特性に及ぼす Sr の影響 2023, In: 軽金属 73, 9, p. 447-454, 8p.
土屋 蒼, 永田 益大, 熊本 拓海, ムハマド ハイリ ファイズ, 沖村 泰彦, 岡根 利光, 吉田 誠 Al-Mg-Mn 系ダイカスト合金における AE 法を用いた Sr 添加時の凝固割れ感受性低減メカニズムの解明 2023, In: 軽金属 73, 7, p. 315-321, 7p.
Y. Okimura, Y. Kato, H. Makino, K. Hashimoto, Y. Maeda, T. Okane, M. K. Faiz, H. Komine, T. Miyashita, & M. Yoshida Proposition of new yield criterion for green sand mold and its experimental validation by FEM stress analysis of triaxial compression test 2023 9 月, In: Journal of Materials Processing Technology. 318, 118020.