

新たな組織制御による高強度アルミニウムの成形技術の開発（第2報）

4 ダイカストによる足回り部品用 Al-Mg-Si 系合金の機械的性質

府山伸行, 兼外足穂*, 田畑潤二*, 佐々木寛人**, 安達充***, 前田琢磨***, 板村正行****

Mechanical properties of Al-Mg-Si series aluminum alloys for automotive underbody parts by high pressure die casting

FUYAMA Nobuyuki, KENGAI Taruho, TABATA Junji, SASAKI Hiroto, ADACHI Mitsuru, MAEDA Takuma and ITAMURA Masayuki

Further weight reduction of automotive underbody part is very important for fuel efficiency and driving performance. In this basic research, high strength Al-Mg-Si series alloys for high pressure die casting, which is assumed to be automotive underbody parts, was studied. The investigation was focused on the effect of chemical composition (Mg, Si) and heat treating conditions (T6) upon mechanical properties. The tensile strength tests of automotive underbody parts model from die castings of development alloy were carried out experimentally and the results showed the mechanical properties (Tensile strength: 390MPa, Yield strength: 325MPa, Elongation: 10%) is equivalent to that of A6061 wrought aluminum alloys.

キーワード: Al-Mg-Si 合金, ダイカスト, 機械的性質, 熱処理

1 緒 言

自動車には環境保護に向けた燃費向上, 充実した安全装備, 高度な操縦安定性がさらに望まれており, これらの背景から軽量化が一層進むとされる¹⁾。

アルミニウム合金製の足回り部品は, 従来の鍛造法に加え, 高い生産性をもつダイカスト法での生産が期待されている²⁾。しかし, 足回り部品に要求される材料特性は疲労強度, 耐力に加え衝撃吸収性から破断せずに変形することが望まれるなど実用化へのハードルは高い。

自動車用足回り部品としては, Al-Mg-Si 系合金の JIS 6000 系展伸用合金が高い機械的性質を有し, 多くの実績がある³⁾。しかし, この合金系は鑄造時の湯流れ, 凝固割れ, 焼き付き対策に必要と考えられるシリコン, 鉄などの元素含有量が低いため鑄造用材には不適とされている。一方, シリコン, 鉄などの元素を適度に含有する Al-Si-Mg 系合金の代表的な JIS AC4CH 鑄造用合金では今後の足回り部品に要求される高いレベルの機械的性質を満足することは困難である。

本研究開発では, 強度, 靱性 (伸び) に優れた Al-Mg-Si 系合金を足回り部材に適用可能なダイカスト材として配合探索し, その合金に適した鑄造条件, 熱処理条件の選定に取り組んだ⁴⁾。T6 熱処理による機械的性質の数値目標は, アルミ鍛造品レベルである引張強度 345MPa, 耐力 315MPa, 伸び 10%とした。

2 実験方法

2.1 材料組成

Al-Mg-Si 系合金の引張り強さに及ぼす Mg₂Si 量, 過剰シリコン量及び過剰マグネシウム量の効果は図1のようになることが知られている⁵⁾。図中の A6061 合金組成にマグネシウム量, シリコン量を増加すると, 引張り強度が著しく向上することが予測される。一方, シリコン量の極端な増加は伸びの低下を招くなど, ダイカスト鑄造性も考慮した合金組成の調整が望まれる。

本研究では鑄造後の凝固割れの発生を抑え, かつ十分な機械的特性を得られるよう開発された Al-Mg-Si 系合金鑄造材を基準の実験組成とした⁶⁾。実験組成は図1中に示す通り A6061 合金組成より低 Mg 高 Si 側の組成範囲であり, この領域でダイカスト材として合金調整を試みた。実験した主要な組成範囲を表1に示す。足回り材として実績の高い A6061 合金の組成範囲も参考に付記した。

表1 ダイカストした Al-Mg-Si 合金の実験組成 (mass%)

	Mg	Si	Cu	Ti	Al
実験組成	0.2~0.4	1.2~5.0	0.4~0.6	0.02~0.05	Bal.
参考: A6061	0.8~1.2	0.4~0.8	0.15~0.4	0.15以下	Bal.

*広島アルミニウム工業株式会社 **宇部興産機械株式会社

東北大学 ACS センター *元東北大学

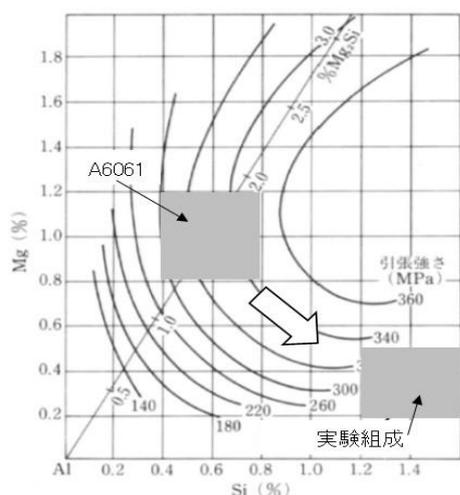


図1 Al-Mg-Si合金におけるMg, Si量と引張強度の関係⁵⁾

2.2 ダイカスト条件

ダイカストマシンは宇部興産機械(株)製 UB5300iS2 (型締め力: 5300kN) を使用した。各合金は溶解保持炉でインゴット溶解後, ナトリウムフラックス+アルゴンガスバブリングを行い溶湯処理した。 castingはチルベント排気方法で, 製品取出し及び, 離型剤塗布を手動動作による半自動成形した。プランジャー潤滑剤は黒鉛鉍物油系, 離型剤は(株)MORESCO 製黒鉛系離型剤グラフェース GT-400を用いた。

金型はまず平板形状型 (A4 サイズ, 板厚 12mm) を用い, 外観および内部欠陥を抑える casting条件を選定した。その後, 足回り部品 (一般肉厚 13mm, 鋳込重量約 5kg) を実体試作して, 引張り強度特性を評価した。

2.3 熱処理

Al-Mg-Si系熱処理型合金として, T6条件を検討した。T6条件は足回り材で実績の高い JIS A6061の温度範囲を参考に調整した。

溶体化処理は, 溶質元素の固溶をピッカース硬さで確認するとともに, 共晶 Siの溶け込みならびに形態変化を断面組織で確認しながら高温化を目指した。時効処理は時効温度の変化により強度, 耐力, 伸びのバランスを調査した。なお基準の T6熱処理条件は, 溶体化温度 535°C, 時効温度 180°Cとした。

2.4 材料評価

サンプル評価は外観カラーチェック, 内部断面の X線 CT スキャン, 光学顕微鏡によるマイクロ組織観察により casting欠陥を調査した。機械的性質は JIS 14号試験片による常温引張試験を実施した。引張試験片の切り出しは X

線 CT スキャンを用い内部欠陥が少ない箇所から行った。

3 実験結果および考察

3.1 ダイカスト条件と内外欠陥の関係

一般的に展伸材系合金は潜熱量が小さく, 潜熱放出温度域が狭いことにより casting性が悪い。本研究ではダイカスト成形するにあたり, キャビティ内の各所の凝固完了タイミングが極力同一になることを目指した。このため, スリーブ内溶湯温度の均一化や, 射出時の乱流防止, casting圧力伝播の改善などに取り組んだ。

一例として図2に射出速度の内部, 外観欠陥への影響を示す。実験組成では, 一般的なダイカストの充填速度 1.0m/sより遅い充填速度 0.2m/secの場合, おもに凝固に伴う割れが抑制された。なお, この割れ抑制効果は充填速度の低速化以外にも注湯温度, スリーブ温度, ゲート比などの調整により高くなることが判明している。

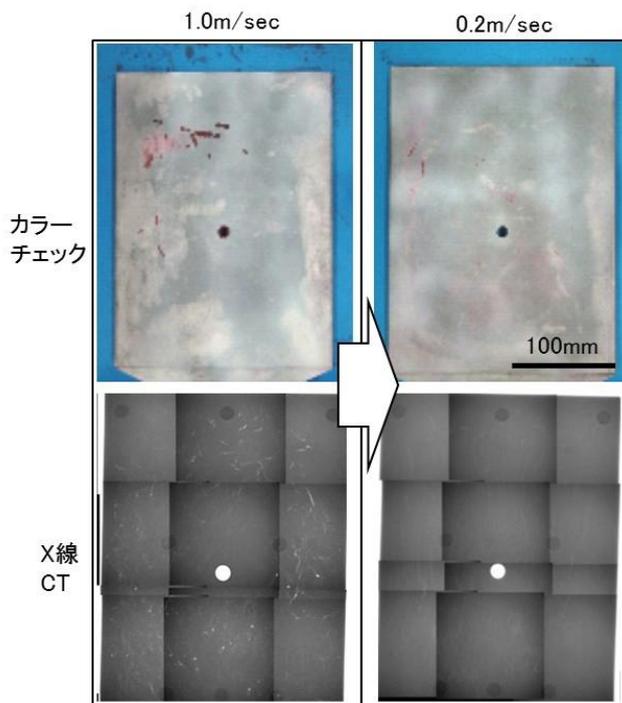


図2 射出速度の違いによる内外観欠陥への影

3.2 引張強度に及ぼす Mg, Si 量の影響

内外欠陥を低減したダイカスト条件を適用し, 足回り部品を実体成形した。材料は表1の組成範囲のうち引張強度および伸びに大きく寄与すると考えられるマグネシウム量とシリコン量を上下限付近で3種類組み合わせ, 試作合金①, ②, ③とした。これら試作合金①から③に, 基準の T6熱処理を施して引張試験を行った。合金別の応力歪線図 (N=3重ね書き) を図3にて比較した。

まずシリコン量を高めとし, マグネシウム量の増減を

4 ダイカストによる足回り部品用Al-Mg-Si系合金の機械的性質

評価した。合金①（低Mg高Si）よりも合金②（高Mg高Si）の方が、耐力はばらつきが少なく220MPaから320MPaと大きく向上した。強度も305MPaから380MPaと明らかな向上がみられた。これはAl-Mg-Si系合金の熱処理によるβ“相などの微細析出物の増加によると推定される。このように合金②（高Mg高Si）は強度380MPa、耐力320MPaと目標仕様を満足するが、破断伸びはマグネシウム、鉄の偏析もあり最高でも7%と低く目標仕様を満足していなかった。

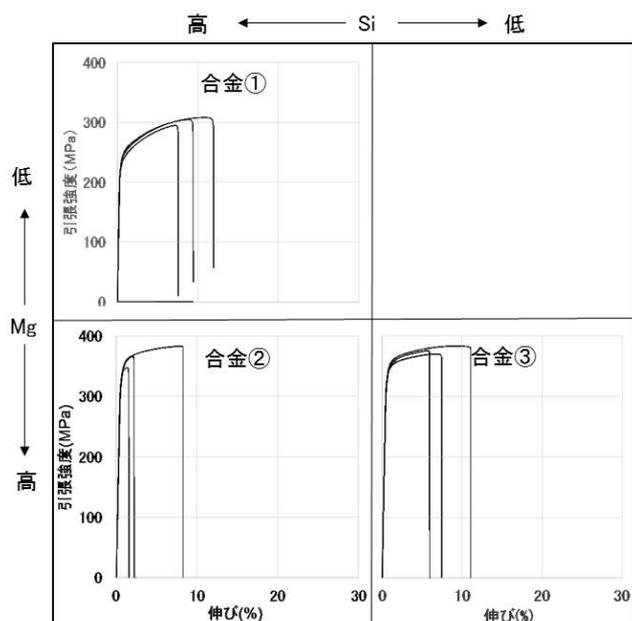


図3 Al-Mg-Si系試作ダイカストの応力歪線図

そこでマグネシウム量は高めのままで、伸びの向上を狙いシリコン量を低く抑えた合金③（高Mg低Si）を評価した。破断伸びの最大値は、シリコン量低減により合金②の8%に比べ、合金③は11%まで増加している。かつ合金③の強度、耐力は、シリコン量が高い合金②の値をほぼ維持していた。

この結果、足回り部品の目標強度を満足するAl-Mg-Si系ダイカスト組成は、合金③（高Mg低Si）の可能性が最も高い。そこでこの合金③のT6熱処理条件の詳細調整を行った。

3.3 金属組織に及ぼす溶体化温度の影響

溶体化温度を変えた組織観察およびビッカース硬さ試験(2.94N)の結果を図4に示す。溶体化温度を上げて行くと550℃は共晶組織の溶け込み、球状化が確認できたが、粒界付近に晶出物の融解によると考えられる凝集組織も発生し始めている。なお、580℃では凝集組織の増大、600℃では初晶組織の粗大化と共に融解、凝集組織が結晶粒界全体に確認された。

このように溶体化温度の上昇に伴い550℃から融解、凝集（バーニング現象）が徐々に発生することで機械的性質の低下が危惧される。基本条件の535℃でも固溶による十分な硬さが得られていることから合金③（高Mg低Si）サンプルの溶体化温度は535℃のままとした。

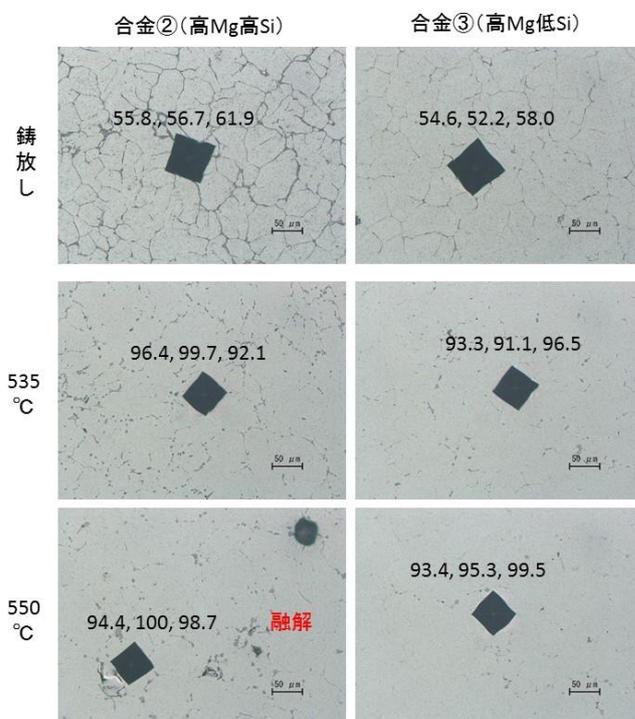


図4 溶体化温度の違いによる断面組織および硬さ

3.4 強度特性に及ぼす時効温度の影響

次に、535℃の溶体化処理を施した合金③（高Mg低Si）サンプルに対し、時効温度を変えて引張試験を行った。時効温度別の応力歪線図(N=3重ね書き)を図5に示す。時効温度を140℃から180℃まで変化させると、応力歪線図の挙動が明らかに異なることが判る。それらの影響を明確にするため、各温度での特性の平均値(N=3)のプロットを図6にまとめた。

時効温度140℃から温度上昇に伴い、強度、耐力は同様に増加し、強度は170℃あたりでピークを示した後、低下した。耐力は180℃まで増加し続け、その向上幅は強度に比べ大きい。一方、伸びは時効温度の上昇と共に下がって行くが、160℃を変曲点として低下が緩やかになった。

この結果、合金③（高Mg低Si）にて時効温度域が170℃付近のとき、足回り部品の目標強度をクリアし、JIS A6061 展伸材に匹敵する引張強度390MPa、耐力325MPa、伸び10%を得られることが判明した。ただし、これら評価は引張特性の最高値で評価した結果であり、ばらつきを考慮した諸条件の適正化が今後の課題である。

4 結 言

足回り部材への適用を目的に強度、靱性（伸び）に優れた Al-Mg-Si 系合金をダイカスト材として配合探索し、鋳造条件、熱処理条件の選定に取り組んだ。

1) ダイカスト鋳造条件は、キャビティ内の各所の凝固タイミングが極力同一となるよう、射出速度の低速化（0.2m/sec）をはじめ注湯温度やスリーブ温度、ゲート比などを調整し、凝固に伴う割れを抑制した。

2) Al-Mg-Si 系合金実験組成範囲のうち、高 Mg 低 Si 試作合金にて最適な T6 熱処理条件（溶体化処理 535℃—時効温度 170℃）を見出し、A6061 展伸材に匹敵する機械的性質（引張強度 390MPa、耐力 330MPa、伸び 10%）を達成できる見通しを得た。

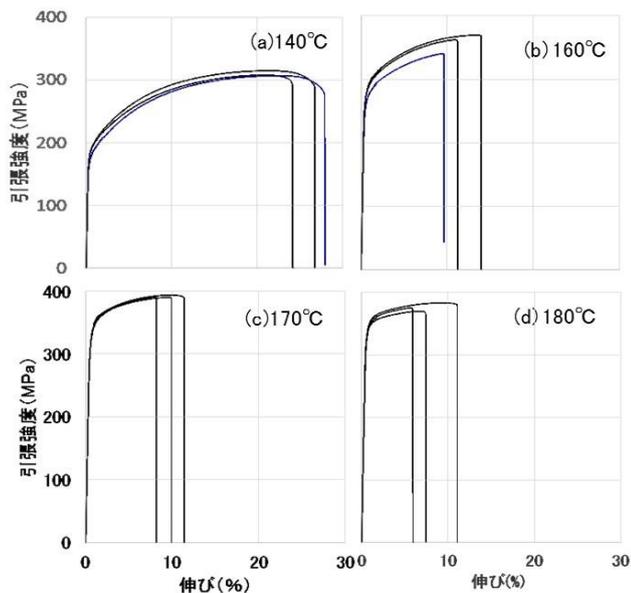


図5 時効温度の違いによる応力歪線図（合金③）

謝 辞

本研究はマツダ株式会社 技術研究所の協力を得て実施した。関係者に謝意を表す。

文 献

- 1) 渡邊：素形材，(2009)，23
- 2) 浅井他：鋳造工学，62 (2010)，819
- 3) 稲垣他：神戸製鋼技報，59 (2009)，22
- 4) 寺山他：広島県西部工技研究報告，58 (2015)，16
- 5) アルミニウムの組織と性質 軽金属学会
- 6) 特開 2014-114482

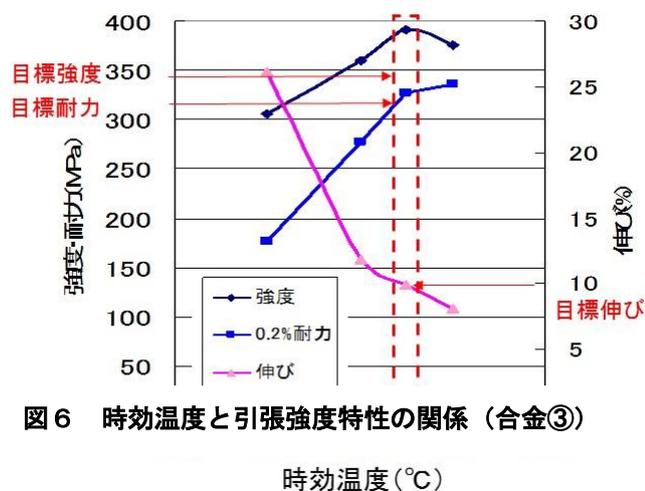


図6 時効温度と引張強度特性の関係（合金③）