

高真空ダイカスト用高強度靱性アルミニウム合金 開発と応用

劉文海

一、はじめに

近年、自動車業界の要求により、アルミ合金ダイカスト部品は、高い衝撃エネルギー吸収性、溶接性、耐応力腐食性、高い可塑性が求められており、このような要求は、新しいダイカスト合金の開発を促進します。高真空ダイカストの対象製品は、伸び率の要求が非常に高い自動車や二輪車の構造部品ですが、ADC10 や ADC12 などの従来のダイカストアルミニウム合金は伸び率が低く、高強度のダイカストが得られません。そのため、高真空ダイカスト部品の性能要件を満たすことができず、セキュリティ構造部品での使用には適していません。海外では、高真空ダイカスト用の特殊アルミニウム合金シリーズが開発されています。高真空ダイカスト部品の材質は、通常のダイカスト部品とは異なり、溶接や熱処理の目的を達成するために使用されています。ダイカストのすべてのステップに注意を払う必要があります。

二、ダイカストアルミニウム合金の特性と主要な合金元素の役割

1. 従来のダイカストアルミニウム合金の特徴

スムーズなダイカストを確保し、製造部品の作業性能要件を満たすことに加えて、ダイカストアルミニウム合金は、より優れた塑性レオロジー特性、より小さな線収縮率、狭い結晶化温度範囲、特定の高温固体強度、型から外れやすく、空気を吸い込み酸化が容易ではありません。一般的なダイカストアルミニウム合金は、主に Al-Si-Cu、Al-Si-Mg、Al-Mg シリーズに集中しています。代表的なグレード、主な合金組成、機械的特性を表 1 に示します。その中で、ADC10 (A380) や ADC12 (A383) などの Al-Si-Cu 合金が最も広く使用されています。

表 1 一般的に使用されるダイカストアルミニウム合金の組成と機械的特性

合金グループ	GB	ASTM	JIS	主な構成要素	機械的特性
Al-Si	YL101	A360	ADC3	AlSi10Mg(Fe)	$\sigma \geq 220 \text{ MPa}; \delta \geq 2\%$
	YL102	A413	ADC2	AlSi12(Fe)	$\sigma \geq 279 \text{ MPa}; \delta \geq 2.7\%$
	YL112	A380	ADC10	AlSi9Cu3(Fe)	$\sigma \geq 320 \text{ MPa}; \delta \geq 3.5\%$
Al-Si-Cu	YL113	A383	ADC12	AlSi11Cu3	$\sigma \geq 230 \text{ MPa}; \delta \geq 1\%$
	YL117	B390	ADC14	AlSi17Cu5Mg	$\sigma \geq 220 \text{ MPa}; \delta \leq 1\%$
Al-Mg	YL302	518	ADC5	AlMg5Si1	$\sigma \geq 220 \text{ MPa}; \delta \geq 2\%$

注：機械的特性は引張強度と伸び率です

出典：Material Review、2018年11月

アルミダイカストの組成により、鋳造物の機械的性質が決まります。要件の異なる鋳物の場合、ダイカストの方法を選択するだけでなく、適切なアルミニウム合金の組成を使用する必要があります。要約すると、通常のダイカストアルミニウム合金の主な合金元素は、Si、Fe、Cu などです。Si は合金の流動性を向上させ、Fe は離型に適しており、Cu は鋳造の強度を高めることができます。ただし、Fe は針状の β -Al₅FeSi 相を形成しやすいため（図 1）、通常のアルミニウム合金ダイカストの伸び率は一般に 3% 未満です。しかし、Fe は針状の β -Al₅FeSi 相を形成しやすいため（図 1）、通常のアルミニウム合金ダイカストの伸び率は一般に 3% 未満です。ダイカスト工程で発生する金型のスティッキング防止のため、ダイカスト合金の Fe 含有量は一般に高く、鉄含有量が多いと鋳造の靱性が低下します。JIS H 5302：2000 によると、ADC12 の引張強度は 228 MPa、伸びは 1.4% です。酸素充填ダイカスト技術を使用した場合でも、ADC12 の伸び率は 1.9% に過ぎず、本質的に伸び率が低いことを示しています。

2. 通常のダイカストアルミニウム合金の改質

ダイカスト部品の機械的特性を改善するために、海外の伝統的なダイカストアルミニウム合金に基づいて多くの改質研究が行われてきました。たとえば、ADC12 合金に 1.0%Sm を追加すると、ADC12 合金の共晶シリコンのサイズが大幅に改善されます。二次デンドライト間隔は 51 μm から 15 μm に減少し、その引張強度と伸びはそれぞれ 220 MPa と 3.1% に達します。また、0.05%Sr を添加して、ADC12 合金の結晶粒を微細化し、共晶シリコンの形態を改善し、引張強度と伸びをそれぞれ 269.5 MPa と 3.2% に到達させるためにも使用されます。

A380 は、米国で最も広く使用されているダイカストアルミニウム合金であり、優れた機械的特性と鋳造特性を備えています。383 および 384 は A380 の改質合金であり、それらの Si 含有量は A380 よりも共晶組成に近い場合、合金の流動性がさらに向上します。383 合金は、Cu 含有量が低く、ダイカス

ト中に高温割れを形成する傾向が低くなります。アメリカの Makhlof 教授は、新しい合金の開発、ダイカスト工程の最適化、合金の性能評価など、アルミニウム合金のダイカストを長い間研究してきました。彼は iSelect-A12.0 ソフトウェアを開発し、そのソフトウェアを使用して A380 アルミニウム合金の化学組成を最適化しました。成分調整には、主に Si、Mn、Mg の含有量を増やし、Fe、Cu の含有量を減らし、Sr を添加して改質することが含まれます。組成の最適化後、AMC380 アルミニウム合金の引張強度は A380 と比較して 7.0%~9.9% 増加し、降伏強度は 20.5%~24.8% 増加しますが、伸びは減少しています。A380 アルミニウム合金の伸びは 4.6% に増加し、増加率は 17%~22.6% ですが、引張強度と降伏強度の増加は 5.9% 未満です。

学者は A380 合金に 0.6% の Li を添加して、合金中の β -AlFeSi 相と共晶シリコンをより分散させて均一にしました。最終ダイカストの引張強度と伸びは、それぞれ 274MPa と 3.8% から 300MPa と 6% に増加しました。学者は 0.04% の Sr とそれに続く熱処理を追加して、A380 アルミニウム合金の引張強度と伸びをそれぞれ 258MPa と 4.2% に到達させました。また、Fe の影響を減らし、共晶シリコンのサイズを改善するために、A380 合金に 0.05% の Be を添加しています。鋳物の引張強度が 270MPa から 295MPa に増加し、伸びが 3.7% から 4.7% に増加します。要約すると、通常のダイカストアルミニウム合金の改質に関する研究により、合金の強度、特に降伏強度と伸びが大幅に改善されましたが、Fe 含有量が多いため、鋳物の伸びは大きく改善されず、改質後の伸びは基本的に 5% 未満です。

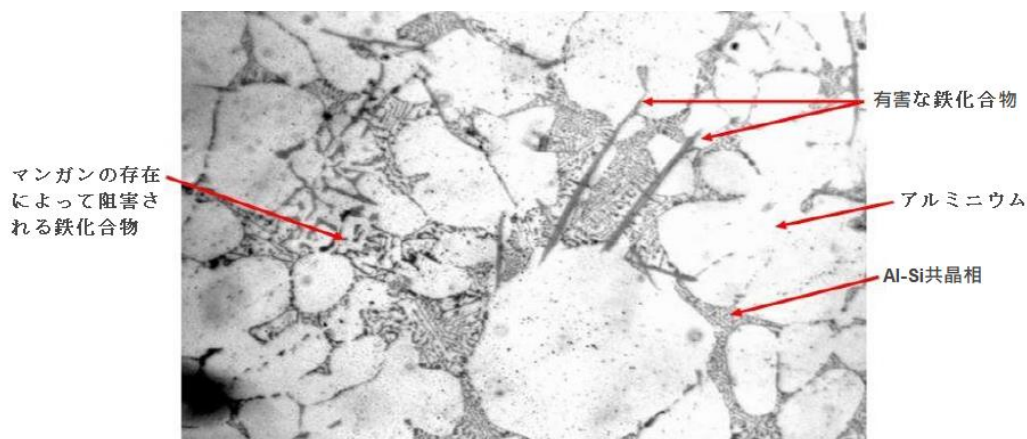


図1 従来のダイカストアルミニウム合金の微細構造

出典：軽金属製造技術およびアプリケーションセミナー、2019年9月5日

三、高真空ダイカストアルミニウム合金の特性と分類

自動車の応力部品やセキュリティ部品の中には、通常のダイカスト部品よりも強度、靱性、疲労の要求がはるかに高く、一般に8%以上の伸び率が要

求されるですが、通常のアルミ合金ダイカスト部品の伸び率は5%未満です。高真空ダイカスト技術を使用することで、通常ダイカストアルミニウム合金の機械的特性を大幅に向上させることができます。たとえば、ADC12高真空ダイカストの引張強度と伸びは、通常ダイカストよりも6.6%と25%高くなっています。それでも、通常ダイカストアルミニウム合金では、高真空ダイカスト技術では自動車応力構造部品の性能（特に伸び率）要件を満たすことが難しいため、高真空ダイカスト法に加えて、より性能の高いダイカストアルミニウム合金を使用する必要があります。

外国人研究者は、ダイカストの機械的特性、耐食性、疲労特性をさらに向上させるために、外国の研究者は、現在主にAl-SiおよびAl-Mgシリーズの合金に集中している、高真空ダイカスト用の新しい低コストで高性能のアルミニウム合金の開発に取り組んでいます。業界で最もよく知られているアルミニウム合金グレードには、Silafont®-36、Magsimal®-59、Aural-2、Aural-3などがあり、それらは主に合金元素の最適化または追加に基づいており、新たに開発されたタイプのアルミニウム合金は、主に日本のヤマハが開発したDiASilアルミニウム合金です。現在業界で使用されている主な高強度で強靱なアルミニウム合金のグレードと組成を表2に示します。

(一) Al-Si シリーズ高真空ダイカストアルミニウム合金

Al-Si シリーズ合金は、その優れた鋳造性能により、高真空ダイカストアルミニウム合金の主な研究開発材料でもあります。その中で、Al-Si シリーズの高真空ダイカストアルミニウム合金は亜共晶合金-AlSi10MnMg合金に属し、通常ダイカストアルミニウム合金と比較して、主な違いは次のとおりです。

表2 主な高強度靱性アルミニウム合金グレードと組成

材料グレード	元素含量(%)										
	Silicon	Manganese	Magnesium	Strontium	Titanium	Iron	Copper	Zinc	Beryllium	Molybdenum	Zirconium
EN AC-43400 ⁽⁷⁾	9.0~11.0	0.55	0.2~0.5	—	0.02	1	1	0.15	—	—	—
Silafont®-36 ⁽⁸⁾	9.5~11.5	0.5~0.8	0.1~0.5	0.01~0.02	0.15	0.15	0.03	0.07	—	—	—
Magsimal®-59 ⁽⁹⁾	1.8~2.6	0.5~0.8	5.0~6.0	—	0.2	0.2	0.03	0.07	0.04	—	—
Castasil®-37 ⁽¹⁰⁾	8.5~10.5	0.35~0.6	0.06	0.006~0.025	—	0.15	0.05	0.07	—	0.1~0.3	0.1~0.3
Aural-2 ⁽¹¹⁾	9.5~11.5	0.45~0.55	0.27~0.33	0.01~0.16	0.08	0.15~0.22	0.03	—	—	—	—
Aural-3 ⁽¹¹⁾	9.5~11.5	0.45~0.55	0.4~0.6	0.01~0.16	0.08	0.15~0.22	0.03	—	—	—	—
DiASil ⁽¹²⁾	20	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—

出典：工業材料 395号、2019年11月

- A. 高Si：合金の鋳造特性を確保するために、肉厚がわずか1.1mmの部品を製造することができます；
- B. Cuはできるだけ避ける：自動車の応力がかかった構造部品の耐食性が優れ

ていることを保証できます；

- C. Fe 含有量を最小限に抑える：Mn 含有量を相対的に増やして、合金の金型スティッキング防ぐことを向上させます。同時に、Mn / Si 比が適切な場合、針状の β -Al₅FeSi 化合物の形成を回避できます。そして、微細に分散した α -Al₁₅(Mn, Fe)₃Si₂ 四元相の形成により、材料が優れた総合的な特性を確実に持つようになります；
- D. Sr と Ti の添加：Sr の添加は、合金の伸び率を増加させるための修飾効果によって共晶シリコン相の形態を変化させるだけでなく、ダイカスト中の金型スティッキングの傾向を低減することもできます。Ti の添加は、 α -Al デンドライトおよび第 2 相のサイズを微細化することができ、それにより、鋳物の機械的特性を改善する。

1. Silafont®-36

1994 年、ドイツの Rheinfelden Alloys 会社は、高靱性ダイカストアルミニウム合金 Silafont®-36 を初めて発売しました。Silafont®-36 は、ヨーロッパグレードの EN AC-43400 に基づいて開発されました。表 2 に、ENAC-43400 と Silafont®-36 の組成の違いを示します。Silafont®-36 の鉄含有量は非常に低ですが、鉄含有量が少なすぎると鋳物に付着する可能性があります。マンガンを追加すると、付着を減らすことができ、アルミニウムと針状の金属間化合物を生成しません。さらに、ストロンチウムの添加により共晶シリコンが変化するため、鋳造時に太い針状に現れた共晶シリコンを微細な繊維状の共晶シリコンに変換することができ、合金の靱性が向上し、耐食性に悪影響を与える不純な元素の Cu と Zn は厳しく制限されています。

図 2 に Silafont®-36 の微細構造を示します。Sr を含まない AlSi9MnMg 合金と比較すると、Sr を含む Silafont-36 の共晶 Si 形状は層状から微細な球状化に変化します。また、共晶 Si の形状変化により、F 材でも 10% の伸び率で高い延性が得られます。溶体化処理の実施により、共晶 Si は少し大きくなりますが、球状化にもします。共晶 Si の球状化は、T7 材料（溶体化処理 + 過時効）の延性を高くするための理由にあります。Silafont®-36 は、高真空ダイカスト技術と熱処理を受けて、Mg₂Si などの強化相を析出させ、合金の強度を高めます。表 3 は、Silafont-36 と ADC12 の機械的特性の比較です。現在、Silafont-36 は市販の標準合金になっており、アルミニウム協会でのグレードは AA365.0 です。

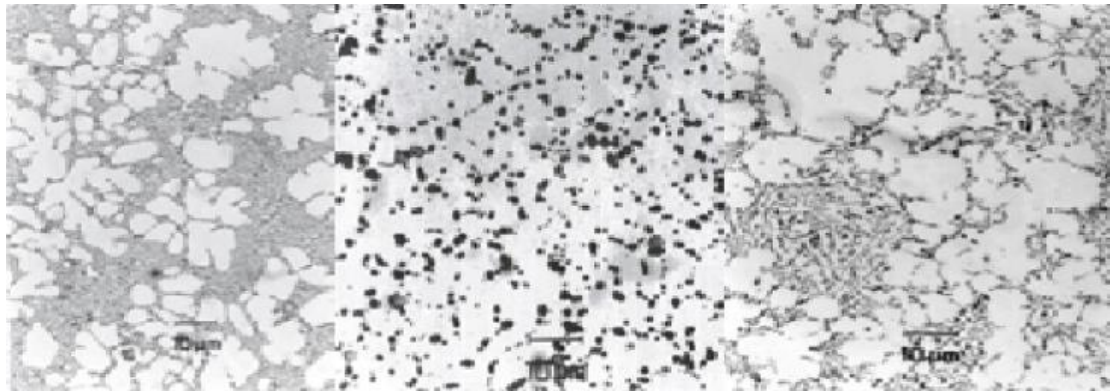


図2 Silafont®-36の微細構造（左：鋳造状態、中央：溶体化処理、右：Srを添加なし）

出典：素形材、2009年9月

表3 Silafont-36とADC12の機械的特性の比較

合金	熱処理状態	降伏強さ N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び率 %	硬度 HB
Silafont-36	F	120-150	250-290	5-11	75-95
Silafont-36	T4	95-140	210-260	15-22	60-75
Silafont-36	T5	155-245	275-340	4-9	80-110
Silafont-36	T6	210-280	290-340	7-12	90-110
Silafont-36	T7	120-170	200-240	15-20	60-75
ADC12	F	154	228	1.4	74.1

注：ADC12のデータは、11種類の製品から採取した27個試験片の引張試験の平均です[5]。

出典：機械工業、2019年12月

2. Castasil-37

Castasil-37は、Rheinfelden Alloys社が開発したAl-Si-Mn高強度ダイカストアルミニウム合金でもあり、鋳造性に優れ、熱処理が不要です。鋳造状態では高い延性（伸び率12%以上）が得られ、高温環境での時効による材料変化はありません。Mg含有量は0.06%未満であり、MoとZrが添加されています。マグネシウムの含有量を制限することにより、鋳物が使用されるときに長続きする時効硬化を防ぐことができます。一方、遷移元素のMoとZrの添加は、Mgの含有量の減少による降伏強度の低下を補うために使用されます。Castasil-37の共晶Siは、Srで改質処理した後、Silafont-36と同様に精製でき、Silafont-36よりも微細です。図3に、Castasil-37の鋳造状態の微細構造を示します。

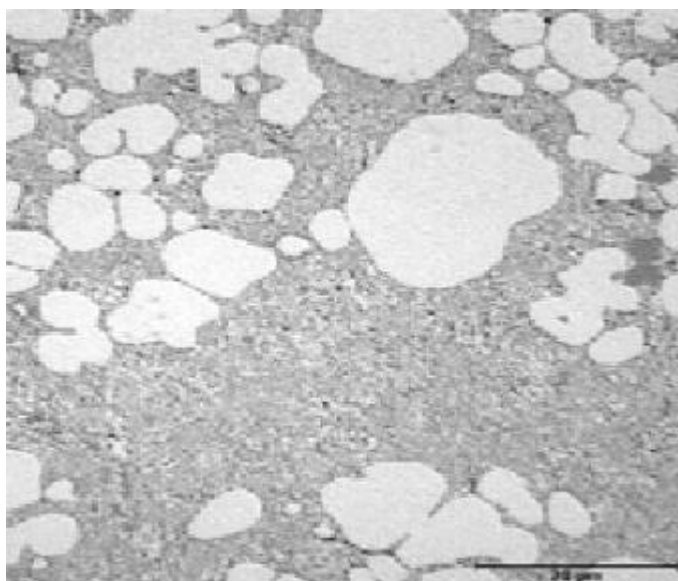


図3 Castasil-37の鋳造状態の微細構造
出典：素形材、2009年9月

3. Aural-2/3

Aural-2 / 3は、Alcan社が開発した高強度アルミニウム合金のAl-Si-Mgシリーズです。Mg含有量が0.27%~0.33%の場合（Aural-2と呼ばれます）、充填流動性に優れた高強度・強靱なアルミニウム合金で、複雑で大規模な薄肉アルミニウム合金ダイカストの製造に適しています。高真空ダイカストと相まって、Mg含有量を0.4%~0.6%（Aural-3）に増やすと、鋳造物は優れた溶接性と熱処理性を備えています。熱処理後のAural-3合金の降伏強度は250MPaに達することができます。伸び率は5%~12%に達することさえあります。Al-Si-Mg合金をダイキャストする場合、Mgは α -Al固溶体に完全に溶解できないため、Mgは急冷中に α -Al固溶体は過飽和状態になり、時効処理中に強化相 Mg_2Si が析出します。合金の引張強度と降伏強度を向上させることができます。

4. C448

C448 (AlSi9Mg)は、Alcoaが開発した熱処理されたイージー鋳造高強度アルミニウム合金で、元素は約10%のシリコンと0.2%のマグネシウムです。合金は析出硬化(Mg_2Si)を受けますが、これには溶体化処理、焼入れ、時効が必要です。Siが7%~12%の範囲の亜共晶合金の場合、Al₅FeSiの一次相を回避するために、Feの含有量は三元共晶点の0.8%未満である必要があります。図4は、Al-Si-Mg-Fe合金にMnを添加した場合の効果を示しています。共晶点でFeが0.8%Mnに完全に置き換わっていると仮定すると、次に、上記の高強度・靱性なダイキャストアルミニウム合金を、一次Fe / Mn金属間化合物の形成を回避する能力について比較します。AA365では、Mnの範囲は

0.5%~0.8%ですが、Aural-2 / 3 および C448 合金では、上限は 0.6%Mn です。 Silafont-36 の最大鉄含有量は 0.15%、C448 は 0.20%、Aural-2 / 3 は 0.25%です。 図 4 の影の部分に示されているように、AA365 で許可されている最高の Mn 含有量が、Fe / Mn を含む一次相の形成の原因であると思われます。経験によると、Aural-2 / 3 および C448 合金は、鉄/マンガン一次相の形成を回避し、延性を低下させるために、より低い Mn 含有量を使用します。AA362 のマンガン含有量は低く (0.25-0.35%)、最大鉄含有量は高い (0.4%) が、その組成範囲は、図 4 の Fe / Mn 一次相形成の予測線よりもまだ低いです。最大鉄含有量が 0.25%の AA367 および AA368 合金 (9%シリコン) は、AA362 と同じくらい低い Mn 含有量を持っているため、予測線をはるかに下回っています。

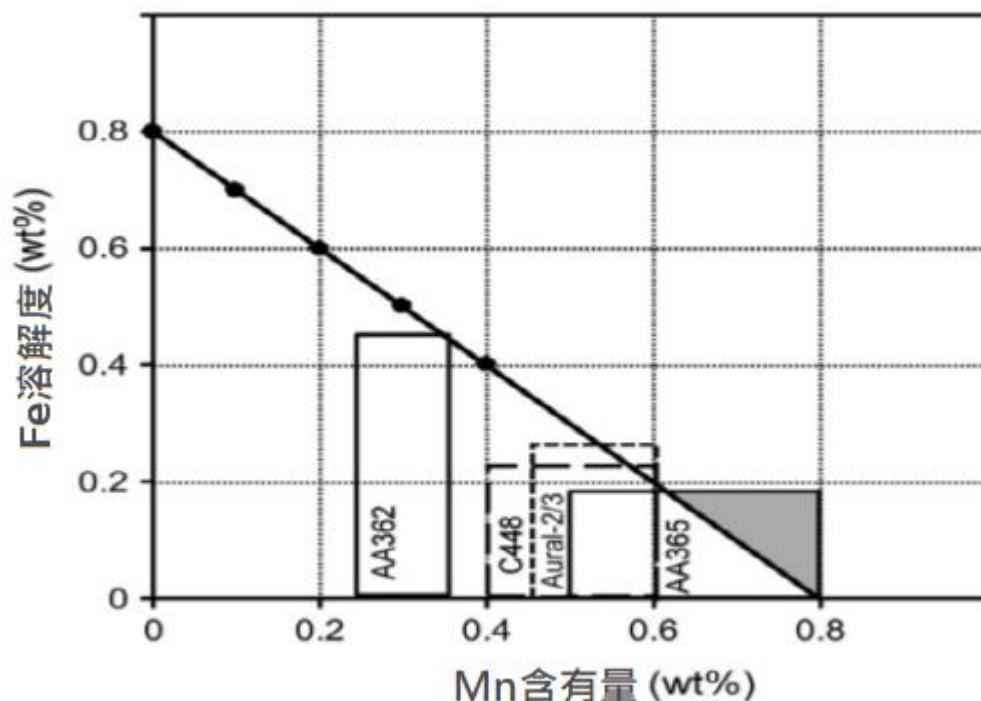


図 4 高強度靱性の Al-Si-Mg-Fe 合金で Fe の代わりに Mn を添加した場合の効果

出典：「Fundamentals of Aluminium Metallurgy:Recent Advances」, 2018 年

Fe (max) = 0.80 - Mn (max) の概念によれば、高 Mn は、Fe / Mn 一次相の析出を回避するために低 Fe を必要とします。Mn の最大値が 0.35% の場合 (例えば、Mercalloy 合金)、Fe / Mn の一次相の形成を回避し、伸び率を低減するには、Fe を 0.45% 未満にする必要があります (図 5 を参照)。金型固着防止性を提供するという点で、ストロンチウム (Sr) は Mn または Fe よりも 10 倍効果的であることがわかっています。したがって、Silafont-36、

Aural-2 / 3、および Alcoa の C448 はすべて、Mn 含有量の削減を可能にします。これは、より高い鉄含有量を使用できることを意味し、金型とスリーブの寿命を延ばすことができます。図 5 に示すように、Mn の範囲 0.25%～0.35%（最大 Mn 含有量 0.35%）を選択することは、金属間化合物の析出を回避するために Fe が 0.45%未満でなければならないことを意味します。

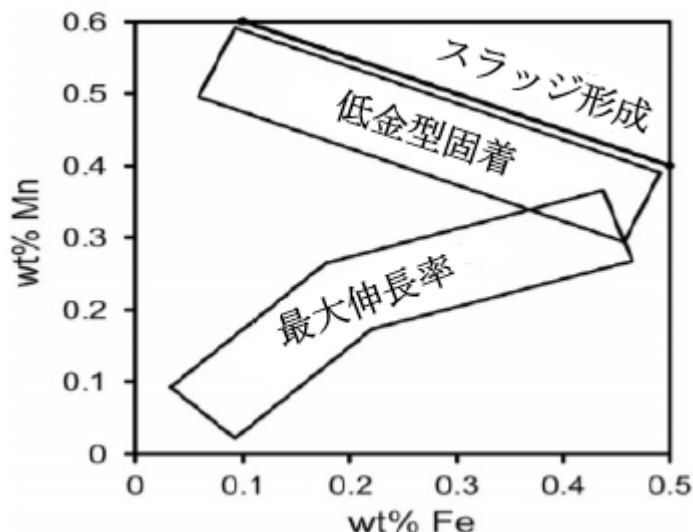


図 5 高強度靱性アルミニウム合金の Mn / Fe 含有量と伸び率の関係

出典：「Fundamentals of Aluminium Metallurgy:Recent Advances」、2018 年

AlSi10MnMg 合金は優れた特性を持っていますが、現在の市販合金は主に電解アルミニウムインゴットから直接製造されており、二次アルミニウムの添加を受け入れることができず、コストが高く、回収後の Fe 含有量は基準を超える可能性があります。現在、二次アルミニウムを基にした高 Fe 含有量の AlSi10MnMg 合金の研究はまだ実験段階であり、このタイプの合金の製造コストは大幅に削減されますが、鋳物の伸び率が低いことが産業化が直面する最大の問題です。既存の研究発見は次のとおりです。

- A. 合金中の Fe 含有量が 0.47%～0.6%の場合、AlSi10MnMg 合金の強度と伸び率は Fe 含有量の増加とともに低下しますが、添加した Mn / Fe 比が約 2/3 の場合、鋳物の伸び率は 8%以上に維持することができます。
- B. 高 Fe の AlSi10MnMg 合金は、主に α -Al、共晶シリコン、Fe に富む中間合金相 (α -Al15 (MnFe) 3Si2、Al5FeSi など)、Mg2Si、Al8FeMg3Si6 など構成されます。Fe 含有量が 0.7%未満の場合、Fe 含有量が増加すると、合金の引張強度も増加し、伸び率が減少します。
- C. 0.55%の Fe を含む AlSi10MnMg 合金鋳物の伸び率は、Mn / Fe の比率を調整し、冷却速度を上げることによって増やすことができます。
また、日本のリョービ社は、独自の高真空ダイカスト技術に基づいて

AC4CH 組成を調整し、亜共晶 AlSiMg 熱処理高靱性ダイカストアルミニウム合金を開発しました。T5 熱処理時の伸び率は 5%~15%です。T4 熱処理時は 10%から 25%もの高さです。2002 年、日本ヤマハ社は、シリコン 20%、銅 1%の高シリコンアルミニウム合金 DiAsi1 シリンダーを開発しました。高真空ダイキャスト条件下では、一次結晶シリコンのサイズは 50 μ m 未満で、強度や耐摩耗性が向上し、二輪車のシリンダーブロックのダイキャストへの応用に成功しましたが、靱性が悪く、他の応力構造部品には適していません。

要約すると、高真空ダイキャスト Al-Si シリーズ合金の開発は主に AlSiMg シリーズ合金に焦点を当てています。このシリーズの合金は、優れた鋳造性能と高強度を備えており、複雑な形状で自動車の総合的な機械的性質の要求が高い部品に使用できますが、鋳物の機械的性質の改善は主にその後の熱処理に依存しますが、熱処理工程で鋳物に変形することは避けられず、補正工程を増やして製造コストを上げる必要があります。

(2) Al-Mg シリーズ高真空ダイキャストアルミニウム合金

Al-Mg シリーズ合金は、高い引張強度と伸び率を得るために溶体化処理を必要としませんが、Al-Mg シリーズ合金に Mg が添加されているため、製錬中に酸化またはスラグを形成しやすくなります。ダイキャストは Al-Si 系合金よりも制御が難しく、主に特殊な外観と耐食性が要求され、高い機械的特性を必要としないダイキャスト部品に使用されます。

1. Magsimal[®]-59

Magsimal[®]-59 は、1995 年にラインフェルデン合金によって開発された高強度ダイキャストアルミニウム合金です。鋳造状態での伸びは 15%以上に維持でき、降伏強度は 120MPa 以上です。主に自動車部品に使用されます。Magsimal-59 も、純度 99.8%以上の一次アルミニウムインゴットをベースに製錬されています。この合金は AlMg5Si2Mn 合金に属しています。主成分は Mg、Si、Mn であり、構造は α 相と Mg₂Si 共晶で構成されています。なかでも、Mg と Si の含有量は Mg₂Si 共晶比 40~50% (面積率) に調整して良好な鋳造性と溶湯補充を実現し、同時に、Mg / Si 比は 2.5 以上であり、耐食性と α 相の強度を確保しています。さらに、Fe 含有量を 0.2%未満、Cu 含有量を 0.03%未満に制御して、伸び率を増加させます。Na と Ca の含有量を 0.001%未満に制御し、溶湯の流動性を高め、耐熱割れ性を高めます。Mg 含有量が 2%を超えると、高温での燃焼損傷が容易になります。また、Al-Mg 合金は溶融時に酸化ドロスを発生しやすいため、少量の Be を添加することにより、溶湯の表面に高密度の BeO が形成され、表面への Al と Mg の拡散と酸化が減少します。図 6 は、Magsimal[®]-59 の鋳造時の微細構造を示しています。

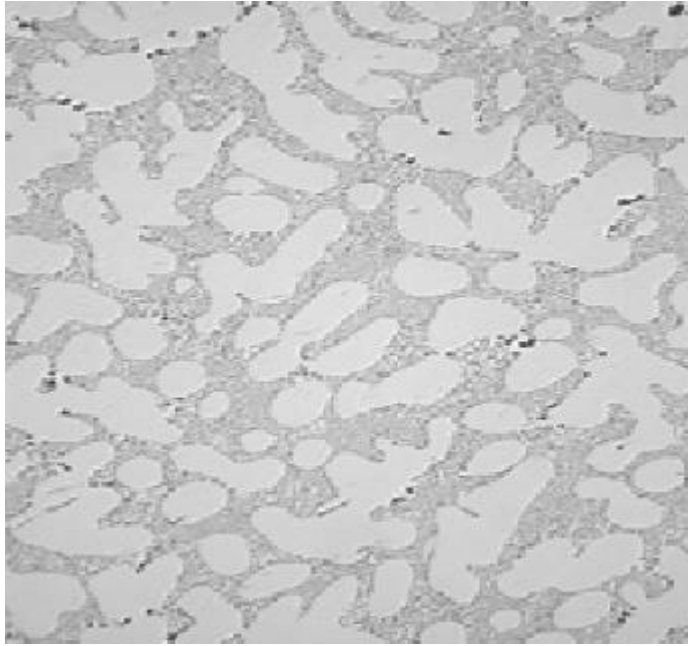


図6 Magsimal®-59の鋳造時の微細構造

出典：素形材、2009年9月

学者は、Mg含有量、構造、および時効処理がAlMg5Si2Mn合金に及ぼす影響を研究し、新しいタイプのAlMg5Si2Mn合金を開発しました。鋳物の引張強度と伸び率はそれぞれ324MPaと8.3%です。250℃×1時間の人工時効処理後の引張強度と伸び率は369MPaと8.5%です。この合金は、その優れた機械的特性により、中国ブランドの自動車のリアサブフレームの製造に使用されています。広東省鴻泰社は、Fe含有量が0.25%未満、Mg含有量が4.5%～6.3%に制御されたAl-Mg-Si-Mnシリーズ合金を発明しました。高真空ダイカスト後、鋳物の降伏強度は217.2 MPaに達する可能性があり、伸び率は7%を超えます。

Al-Mg系合金は、凝固間隔が長く、鋳造性能が悪く、Mg含有量が多いため、溶融の保護や溶湯の処理が困難で、主に単純な形状で薄肉のない部品に使用されます。Al-Mg合金の機械的特性は、主に結晶粒のサイズと合金相に関係しています。その機械的性質の質は主に鋳物の肉厚に依存し、全体として、Al-Mgシリーズ合金の適用範囲はAl-Siシリーズ合金の適用範囲よりもはるかに狭いです。

2. C446

C446 (AlMg3Mn) は、Alcoa社が開発した高強度靱性Al-Mgアルミニウム合金で、熱処理を必要とせず、その元素は約3.5%のマグネシウムと1.3%のマンガン、鉄<0.2%です。この合金は固溶体強化に基づいているため、熱処理は必要ありません。C446とC448の鉄と銅の含有量は非常に低いです。表4

は、これら2つの合金の機械的特性の比較です。

表4 C446 および C448 高強度靱性アルミニウム合金の機械的特性の比較

	C 448 T7 熱処理	C 446 非熱処理
化学物質指定	AlSi9Mg	AlMg3Mn
降伏強さ (min / typ) [MPa]	120 / 140	120 / 150
極限強度 (min / typ) [MPa]	180 / 200	190 / 250
伸び率 (min / typ) [%]	10 / 15	10 / 20
疲労限界 [MPa]	> 100	> 120
溶接性	WIG / MIG / Laser	WIG / MIG / Laser
セルフピアスリベット接合方法	とても良い	とても良い
耐食性	耐食性があります	比較的耐食性があります
成形性	とても良い	とても良い
表面性状	良い	優秀
鋳造性	とても良い	設計変更必要

出典：「TheAluminum Automotive Manual」、EAA、2002年

四、高強度靱性ダイカストアルミニウム合金の応用

自動車部品への高強度靱性ダイカストアルミニウム合金の使用拡大に伴い、世界中の主要企業がアルミニウム合金自動車構造部品を発行し続けています。Silafont®-36は熱処理によって強化できるため、エンジブラケット、自動車のフロントフレーム、テールゲートフレーム、シャーシコンポーネントなど、多くの自動車シャーシセキュリティコンポーネントの製造に適しています（図7を参照）。Magsimal®-59は、自動車のギアボックスビーム、前輪サスペンションブラケット、自動車のオイルパンに使用されています（図8を参照）。

2018年ヨーロッパダイカスト展覧会で上位3つのアルミニウム合金の優れた鋳物に使用されている合金材料は、すべてAlSi10MnMgの合金組成に基づいており、微調整されています。AlSi10MnMgは、Silafont®-36によって追加された主要な要素でもあります。受賞歴のある鋳物は次のとおりです。

1位：自動車接続構造部品（図9）、メーカー：スイスDGS、鋳造サイズ：長さ797mm×幅437mm×高さ304mm、鋳造重量：3.043Kg、合金：AlSi10MnMgZnZr、熱処理：T6。

2位：高電圧アキュムレータハウジング（図10）、メーカー：ドイツ、Magna International Inc. BDW、鋳造サイズ：長さ1120mm×幅540mm×高さ60mm、鋳造重量：7.27 Kg（上）、14.12Kg（下）、合金：EN AC-AlSi10MnMg（Fe）、熱処理：T7。

3位：ハイブリッド車の燃料タンクシェル（図11）、メーカー：スイス

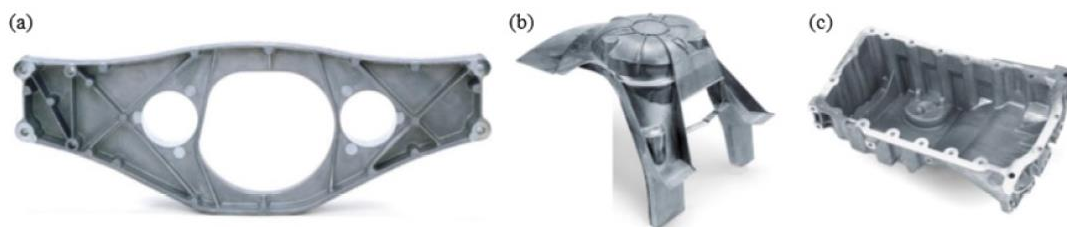
GF、 鋳造サイズ：長さ 980mm×幅 626mm×高さ 236mm、 鋳造重量：10.9Kg、 合金：EN AC-ALSi10MnMg、 熱処理：T7。



(a) 自動車のエンジンブラケット; (b) 自動車のフロントフレーム; (c) 自動車のテールゲートフレーム; (d) 自動車のシャーシコンポーネント⁽⁸⁾

図 7 Silafont®-36 の応用

出典： <https://rheinfelden-alloys.eu/>工業材料、2019年11月



(a) 自動車用ギアボックスビーム; (b) 自動車用前輪サスペンションブラケット; (c) 自動車用オイルパン⁽⁹⁾

図 8 Magsimal®-59 の応用

出典： <https://rheinfelden-alloys.eu/>工業材料、2019年11月



図 9 自動車体構造用部材

出典： <https://kknews.cc>

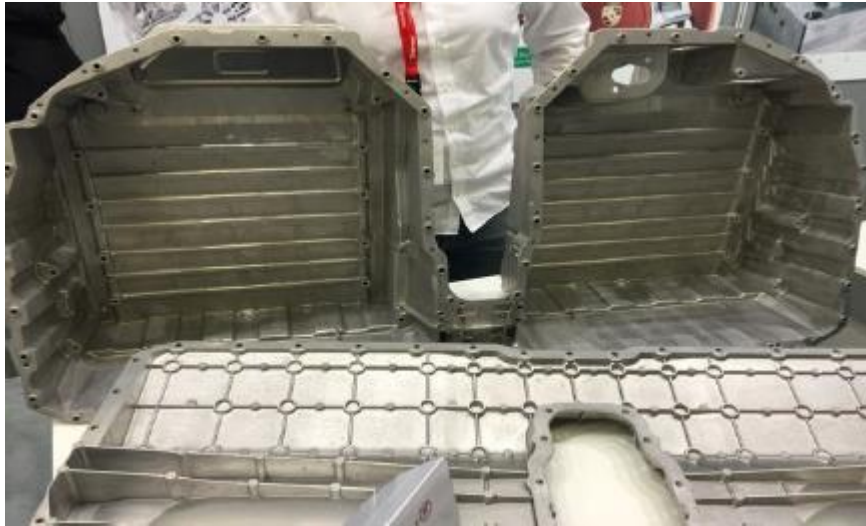


図10 高電圧蓄電装置ハウジング

出典：<https://kknews.cc>



図11 ハイブリッド車の油タンクハウジング

出典：<https://kknews.cc>

五、結論

自動車産業の技術の進歩に伴い、そのパワー、安全性、快適性、騒音、排気ガス、その他の指標は改善を続けています。続くのは、アルミニウム合金ダイカストは、薄壁、高強度、高品質、複雑な形状の一体化の方向に発展する必要があるということです。これはまた、高真空ダイカスト技術の開発の原動力にもなります。将来的には、自動車部品に使用されるアルミニウム合金ダイカスト材料は、Silafont®-36に基づいて開発される必要があります。結局のところ、新しい合金材料を開発することは非常に困難です。我が国では、高強度靱性の真空ダイカストアルミニウム合金と成形技術の研究歴史が

比較的短く、外国企業との差は明らかです。我が国の鑄造産業が自動車産業の先進国に追いつきたいのであれば、真空ダイカスト技術と設備の開発に加えて、組成の最適化、溶湯処理、合金相強化メカニズムなどの観点から、高真空ダイカスト高強度靱性アルミニウム合金に関するより基礎的かつ応用的な研究を行う必要があります。

参照

1. 渡邊修一郎, 「アルミニウム新材料による新たな用途」, 素形材, 2009.09
2. 山縣 裕, 「アルミニウム車体及びエンジンブロックへの高品質ダイカスト技術の適用」, 鑄造工学, 2004, 76 (4), 272
3. 「The Aluminium Automotive Manual」, EAA, 2002
4. Roger N. Lumley, 「Fundamentals of Aluminium Metallurgy: Recent Advances」, Woodhead Publishing, 2018 Elsevier Ltd
5. 張俊超とその他, 「高真空ダイカストアルミニウム合金の研究の進展」, Materials Reports, 第32巻, 2018年11月
6. 張百在とその他, 「AlSi10MgMnFe ダイカストの性能と構造に及ぼすMg含有量の影響」, 特殊鑄造および非鉄合金, Vol. 36, No. 8, 2016年
7. 萬里とその他, 「高真空ダイカスト技術と高強度靱性ダイカストアルミニウム合金の開発と応用状況および展望」, 特殊鑄造および非鉄合金, 第27巻, 第12号, 2007年
8. 邱垂泓とその他, 「自動車軽量化におけるダイカストアルミニウム合金の応用と開発」, 工業材料第395号, 2019年11月
9. <https://global.yamaha-motor.com>
10. <https://kknews.cc> - 「2018年の欧州ダイカスト展での優れた鑄物の評価結果が発表されました」
11. <https://rheinfelden-alloys.eu>