【報告】

Al-15～21%Si合金の半溶融特性

金属材料科　　　　　　岩澤　秀　菅野尚子
株式会社浅沼技研　　　上久保佳則　高橋正詞　杉浦泰夫

Semi-solid properties of Al-15~21wt%Si alloys

Shigeru Iwasawa, Naoko Kanno, Yoshinori Kamikubo, Masashi Takahashi and Yasuo Sugiura

Semi-solid forming process offers excellent features with high quality and light weight of aluminum casting parts. In this work, we produced Al-15%Si, 18%Si and 21%Si casting alloys by semi-solid forming process. The macro-and micro structures, hardness and wear properties of each castings were investigated. Each alloys consists of primary Si particles and eutectic Al-Si phases. The volume fraction of primary Si particles increase with Si contents. The hardness of T6-treated alloys showed higher increase with Si contents. Wear test results indicate less wear loss of each hypereutectic Al-Si alloys specimens than those of hypoeutectic alloy specimens.

1．はじめに

硬いSi相が初晶として存在する過共晶Al-Si系合金は、耐摩耗性に優れ、低熱膨張率からエンジン部品、コンプレッサー部品をはじめとする各種機械部品に応用されている。過共晶合金では、初晶Si相の性状がその特性を大きく支配するものの、所望のSi粒径を得ること、特に高含有のSi合金では、溶解・鋳造温度が高く、溶湯の酸化、ピンホールが発生しやすいなど、安定した品質の鋳物を得ることが難しい。

ところで、高品質部材の製造方法として半溶融法が数年来研究・開発されており、一部実用化にまで至った。半溶融法に関しては、共晶化合物の微細化に起因する機械的性質の向上が達成される亜共晶組成合金において多くの報告があるものの過共晶組成のアルミニウム合金についての研究例は少ない。さらに、亜共晶組成ではα-Al相を球状化するために、ビレットは電磁撹拌などの特別な処理を施されるが、初晶にSi相が晶出する過共晶合金では、そのような処理は不要と思われ、すなわち、円筒形状の容器に鋳造した状態のままビレットとして適用出来るものと考えられる。そこで本研究では、3種類にSi量を変化させた過共晶合金のビレットを作製し、それらを半溶融成形した鋳物の組織と特性を調べて、過共晶合金への半溶融成形法の適用の可能性を検討した。

2．実験方法

試験に供した過共晶アルミニウム合金のSi量は、それぞれ15%Si、18%Siおよび21%Si合金の3種類とし、マトリックス相の強度増加を図るためにMgおよびCuをそれぞれ0.5%ならびに2%となるように成分調整した。溶解は、インゴット溶け落ち後、720℃で純MgおよびAl-50%Cu合金、750℃でSiを添加、さらに790℃でP含有量が100ppmとなるようにCu-10%Pを添加した。注湯温度は、15%Si合金で750℃、18%Siおよび21%Si合金では805℃として、室温の金型に鋳造して半溶融成形法に使用する直径100mmのビレットを得た。得られたビレットを高周波誘導加熱装置を用いて、半溶融温度まで加熱し、150℃の段付金型に成形速度260mm/s、成形圧力30MPaで加圧成形した。

半溶融成形のまま材および熱処理後の組織をそれぞれ光学顕微鏡観察し、初晶Si相の性状を調べた。硬さの測定は、マイクロビッカース硬度計およびブリネル硬度計を用いた。T6処理は505℃、6h溶体化後処理後、180℃、6hで人工時効を行った。摩耗試験は、半溶融成形のまま材およびT6処理材について幅20mm、長さ40mm、厚さ10mmの板状試験片を表面を耐水ペーパー#1000まで研磨し、大越式摩耗試験機を用いて、相手材SUP材（硬度Hv240）、摩耗速度1.98m/s、摩耗距離200mの条件で、負荷

荷重を変えて同一試料にて３回試験し、減耗した摩耗量により評価した。また、熱膨張率測定器（ULVAC　TFC-1000）を用いて室温から250℃までの熱膨張率を測定した。

３．実験結果

３．１　半溶融成形

表１に成形体の化学組成を示す。

表１　化学組成（重量％）

合金	Si	Cu	Mg	Fe	Al
15%Si	14.5	4.1	0.8	0.7	Bal.
18%Si	16.9	4.4	0.8	0.7	Bal.
21%Si	21.7	3.7	0.7	0.7	Bal.

図１にビレットのミクロ組織を示す。いずれも初晶Si粒子と共晶組織とから構成されており、Si含有量の高い程、板状に観察される初晶Si粒子量は増加する。これらのビレットを半溶融成形するためには、適切な半溶融温度を決める必要があるため、それぞれの合金について加熱曲線を採取した。この結果を図２に示す。いずれの合金も560℃直上付近で共晶の一部溶解に対する温度上昇の停滞が認められるが、その後、急激に温度が上昇する。この温度上昇は、固体から液体に相変態が終了したことによる。すなわち、液相線温度に対応する。液相線温度は、Si量の少ない15％合金では、約570℃、18%Siおよび21%Si合金では、約565℃と低Si合金の方が若干高い。図３には21%Si合金の温度による組織変化を示した。温度の上昇に伴い、共晶溶解により液相部分が増加する。初晶Si粒子は、566℃で溶解し始めることで、大きさは小さくなる。液相が増えるとビレットが自立出来ず、成形時のハンドリングが困難となるため、組織と成形工程のし易さから、半溶融成形温度は、15%Si合金では562℃、18%Siおよび21%Si合金では560℃とした。

半溶融成形したままのミクロ組織を図４に示す。いずれの合金も板状の初晶Si粒子と微細な共晶組織が観察された。Si量の多ほど、初晶Si粒子量が多く、また、Si粒子の大きさは、15%Si、18%Siおよび21%Si合金でそれぞれ31μm、36μmならびに49μmであった。

図５および図６には、半溶融成形したまま材（as-cast）の試料ならびにＴ６材のEPMA分析結果を示す。半溶融成形したままでは、強度向上させる目的で添加したCuおよびMgの濃縮が認められ、これら溶質元素を含んだ金属間化合物相が晶出している。一方、Ｔ６処理材では、溶体化処理によりCuおよびMgの一部は、母相内に拡散固溶するために、濃縮は少なくなる。すなわち、Ｔ６材では、CuおよびMgに起因する時効析出により、強度向上がする。

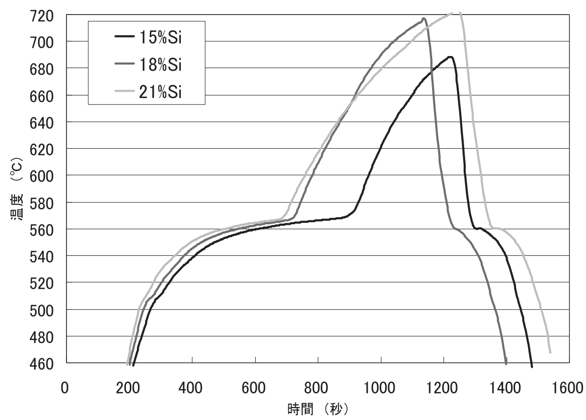

図２　加熱曲線

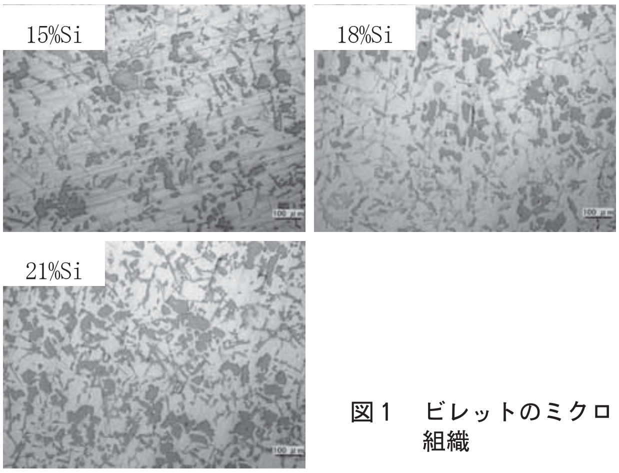

図１　ビレットのミクロ組織

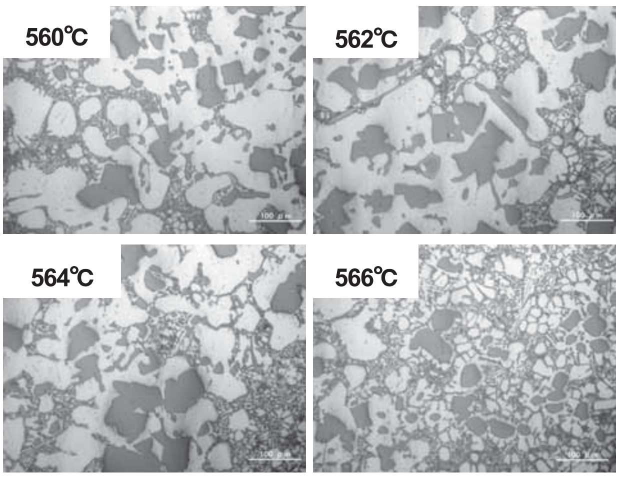

図３　21%Si合金の温度と組織の関係

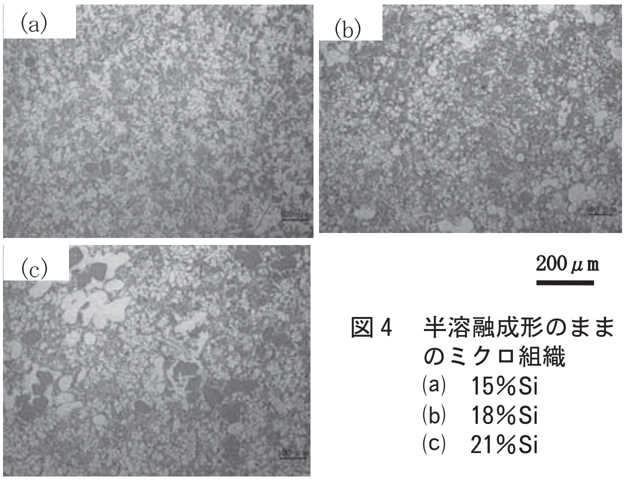

図４　半溶融成形のままのミクロ組織
(a)　15%Si
(b)　18%Si
(c)　21%Si

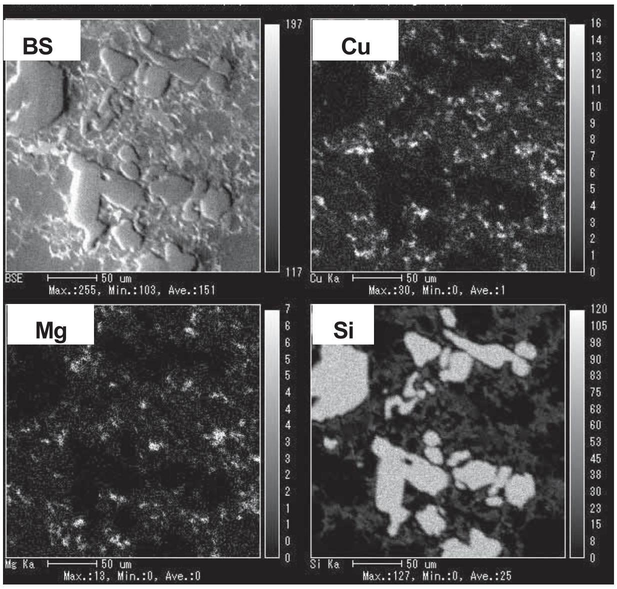

図５　半溶融成形したままのEPMA分析結果

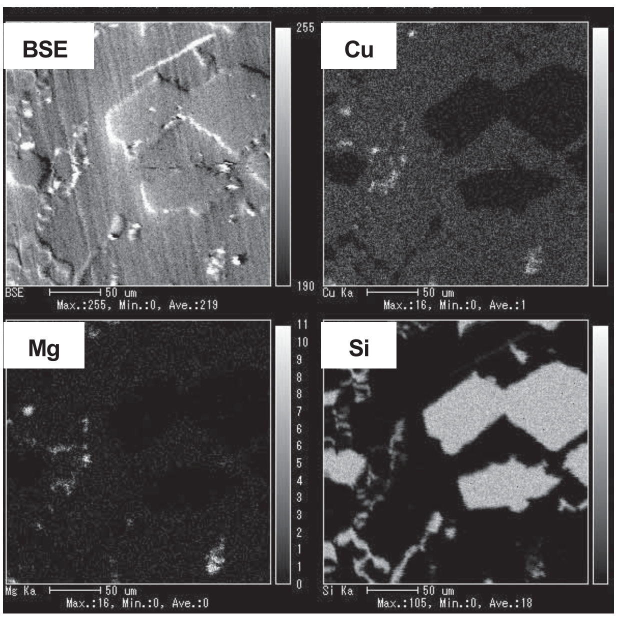

図６　Ｔ６材のEPMA分析結果

３．２　硬さ、摩耗特性および熱的特性

図７に半溶融成形したまま材の硬さおよび摩耗試験結果を亜共晶合金357（Al-７%Si-0.6%Mg）およびAC2B（Al-６%Si-３%Cu-0.5%Mg）と比較した。ブリネル硬さでは、亜共晶合金に比べて初晶にSi粒子が晶出する過共晶合金の方が、硬い。しかし、15%Si～21%Si合金では、硬さはほとんど変わらない。母相の硬さを測定したマイクロビッカース硬さにおいても、同様の傾向を示した。このことは、母相の硬さも亜共晶合金に比べて過共晶合金の方が、硬いことを示している。摩耗試験結果では、いずれの合金も負荷荷重が大きくなると、摩耗減量は増加する。亜共晶合金に比べて、過共晶合金は、いずれの条件でも摩耗減量は少なく、良好な摩耗特性を示した。これは、硬い初晶Si粒子が、晶出しているためである。また、初晶Si粒子の体積が多いほど、摩耗減量が少なく、21%Si合金が最も耐摩耗性が良かった。Ｔ６材では、時効析出により母相が硬化し、硬さ値は向上する。過共晶合金では、母相の硬さはほとんど変わらないが、ブリネル硬さは、幾分硬さの増加が認められた。マイクロビッカースにより測定した母相の硬さは、時効析出によるものであり、初晶Si粒子量に依存しないためである。ブリネル硬さは、初晶Si粒子を含めた硬さを示しているため、初晶Si粒子の多い21%Si合金で、最も高いブリネル硬さ値を示した。摩耗特性も半溶融成形のまま材と同様にSi量が多くなるにつれて、摩耗減量は少ない。初晶Si粒子量の多い21%Si合金で、最も良好な摩耗特性を示した。

図９および図10に半溶融成形した母材とＴ６材の摩耗面の横断面のミクロ組織を示す。半溶融成形の母材では、いずれの合金とも摩耗面近傍は、塑性流動により変形した痕跡が認められる。一方、Ｔ６材では、母相の変形はあまり認められないが、初晶Si粒子自体の割れが観察される。これは、時効析出により母相が強化され、そのためSi粒子と母相界面の応力集中による変形荷重が強まったためと考えられる。いずれも過共晶合金では、初晶Si粒子が摩耗面の表面に存在しており、これらの硬い初晶Si粒子が、相手材との摩耗を防いでおり、特に初晶Si粒子の多

【報告】

い21%Si合金の摩耗特性が多いのは、これら初晶Si粒子の数が多いからと考えられる。

図11に熱膨張率測定結果を示す。半溶融成形のまま材およびＴ６材ともにSi量の増加に伴い、熱膨張率は小さくなる。特にＴ６処理した21%Si合金の熱膨張率は、19.5×10^{-6}/℃となり、亜共晶合金AC4CH（Al-７%Si-0.4%Mg）に比べて約14%小さくなった。

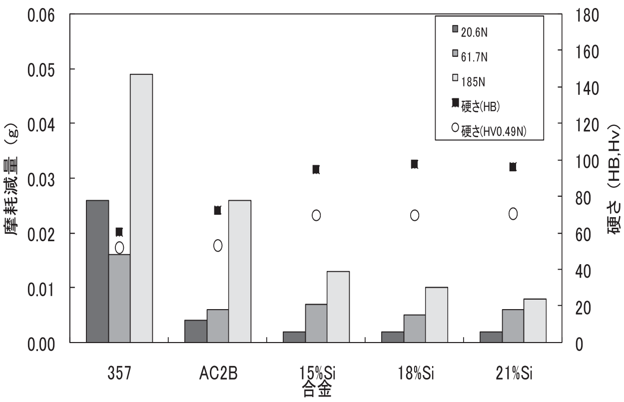

図７　半溶融成形したまま材の硬さおよび摩耗試験結果

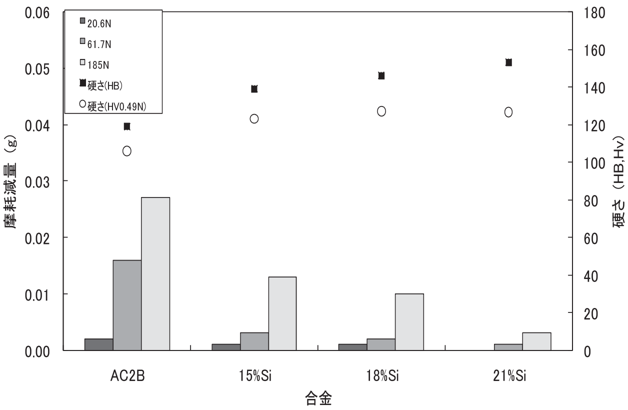

図８　Ｔ６材の硬さおよび摩耗試験結果

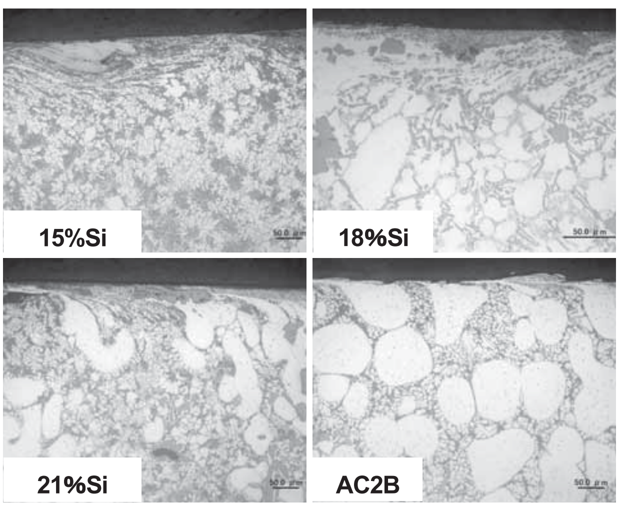

図９　半溶融成形のまま材の摩耗組織

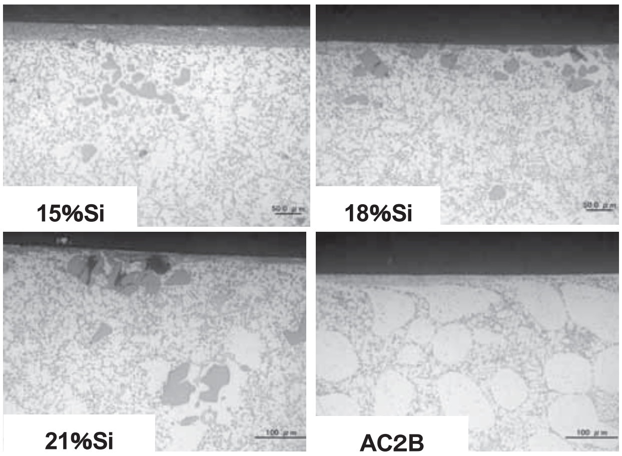

図10　Ｔ６材の摩耗組織

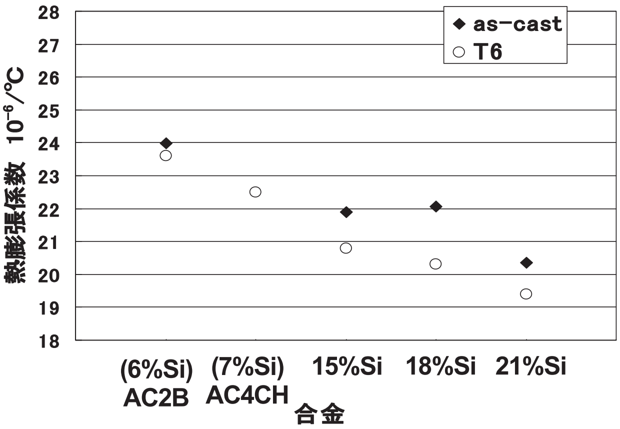

図11　熱膨張測定結果

４．まとめ

本研究では、耐摩耗性の優れた過共晶合金の半溶融成形プロセスの可能性について調べた。結果を要約する。

(1)　初晶Si粒子の大きさを50μm程度に制御したビレットを作製し、半溶融成形出来ることがわかった。

(2)　Si量の増加とともに硬さおよび摩耗特性は向上した。

(3)　Si量の増加とともに熱膨張率は小さくなった。

以上のことから、半溶融成形法を用いて過共晶Al-Si合金における初晶Si粒子径を制御することが可能であり、硬度および耐摩耗性を向上させた合金材を提供できる可能性があることを確認した。