

研究速報

高温顕微鏡による合金材料の半溶融状態の観察

Observation of Mashy Alloys by High Temperature Microscope

木内 学*・杉山 澄雄*・田邊 明三*

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA and Akizo TANABE

1. はじめに

近年、半溶融・半凝固加工技術に関する研究が基礎・応用の両面から盛んになるに伴い、合金素材の半溶融状態を直接観察することが、加工条件の決定あるいは解析モデルの構築などのためにも必要となってきた。しかし、合金素材の半溶融状態の直接観察は、その一部が溶融するに伴い、(a) 試験片観察面の形状の変化、(b) 合金内部に含まれている低融点金属のガス化、などのために阻害されることが多く、その観察例も少ないのが実状である。

本報では、A2017合金および過共晶 Al-Si 合金素材を対象とし、半溶融状態観察用に作製したガラス容器と高温顕微鏡を用い、溶融過程における金属の内部組織の変化について、(a) 溶融開始位置、(b) 溶融域の拡がり、(c) 初晶・共晶の溶融状況、(d) 内部組織の崩壊、などの直接観察を試みた結果を示す。

2. 観察方法および観察条件

観察方法の概要を Fig. 1 に示す。観察方法としては、(a) 試験片 (縦10mm 横10mm 高さ15mm 程度の直方体) を単にガラス容器に入れ、室温から徐々に加熱し、石英ガラス面越しに試験片底面を観察する場合と、(b) (a) と同様なガラス容器内で試験片に静荷重 (面圧約1.3MPa) を加えた状態で加熱を行い、試験片底面を観察する場合との二通りを採用した。(a) の場合は内部組織の熱的变化の観察を主たる目的とし、(b) の場合は半溶融状態にある試験片に荷重が負荷された際の内部組織の崩壊の様子を観察することを目的とした。いずれの観察に際しても、加熱中は常にロータリポンプならびに油拡散ポンプを使ってガラス容器内を 10^{-5} torr 程度の真空状態に保持した。また、

*東京大学生産技術研究所 第2部

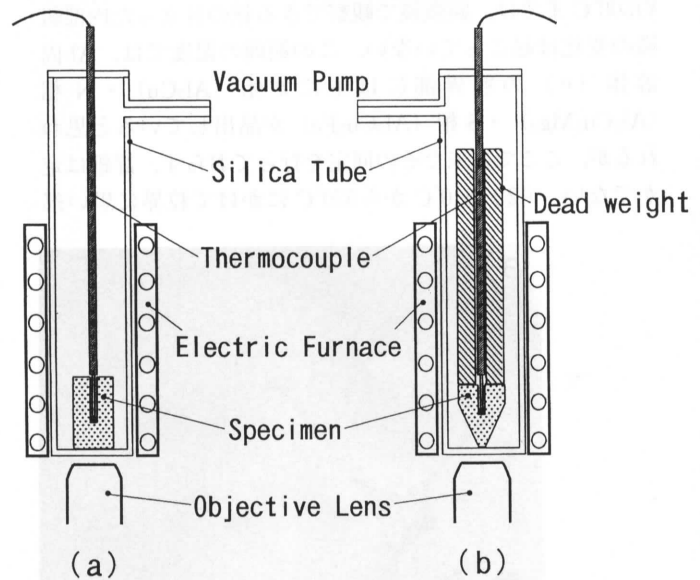


Fig. 1 高温顕微鏡による半溶融状態観察の概略図

温度の測定は、K 熱電対を観察試験片に確実に接触するように取り付けて行った。加熱 (昇温) 速度は、約 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ である。

観察試験片材質としては、市販の A2017合金と実験用に作製した過共晶 Al-29%Si 合金の2種類を採用した。Al-29%Si 合金は、A1070素材に99.0%純度のシリコン (他に Fe: 0.41%, Ca: 0.22%, Al: 0.42% が主要不純物として含まれている) を溶解して作製した。A2017合金の化学成分を Table 1 に、また冷却曲線の測定結果を Fig. 2 に示す。なお、A2017合金については、市販の A2017合金を一旦溶解し、炉冷凝固させた後に、 $480^{\circ}\text{C} \cdot 5$ 時間のガス抜き処理を施し、それを観察用試験片とした。これは、A2017合金に含有されている低融点物質の気化によるガスの発生とそれのガラス面への蒸着を未然に防ぐためである。

研究速報

Table 1 A2017化学成分表 (Wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr+Ti	Al
0.72	0.31	3.82	0.68	0.52	0.02	0.09	0.02	0.02	Bal.

過共晶 Al-29%Si 合金については、上述のようなガス発生がないために、溶湯を炉冷凝固させたものをそのまま試験片として用いた。

3. 観察結果および考察

3-1. A2017 合金の観察結果

Fig. 3 は A2017 合金の溶融過程の観察結果を示す。また、Fig. 4 は、この観察結果をもとに描いた模式図である。これらの観察結果より以下のことが分かる。(1) 室温から約 500°C までは、顕微鏡で観察できる程の目立った内部組織の変化は起こっていない。この範囲の温度では、Al 固溶体 (α) の粒界部には主に θ 相 (Al_2Cu)・N 相 ($\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_2$)・S 相 ($\text{Al}_2\text{Cu}_2\text{Fe}$) が晶出していると思われるが、ここでは未だその同定を行っておらず、詳細は定かでない。(2) 510°C から 520°C にかけて粒界に黒い部

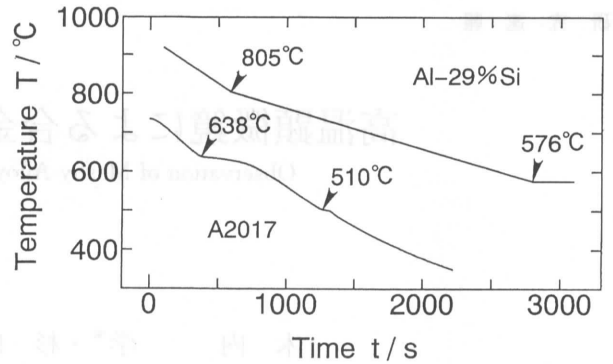
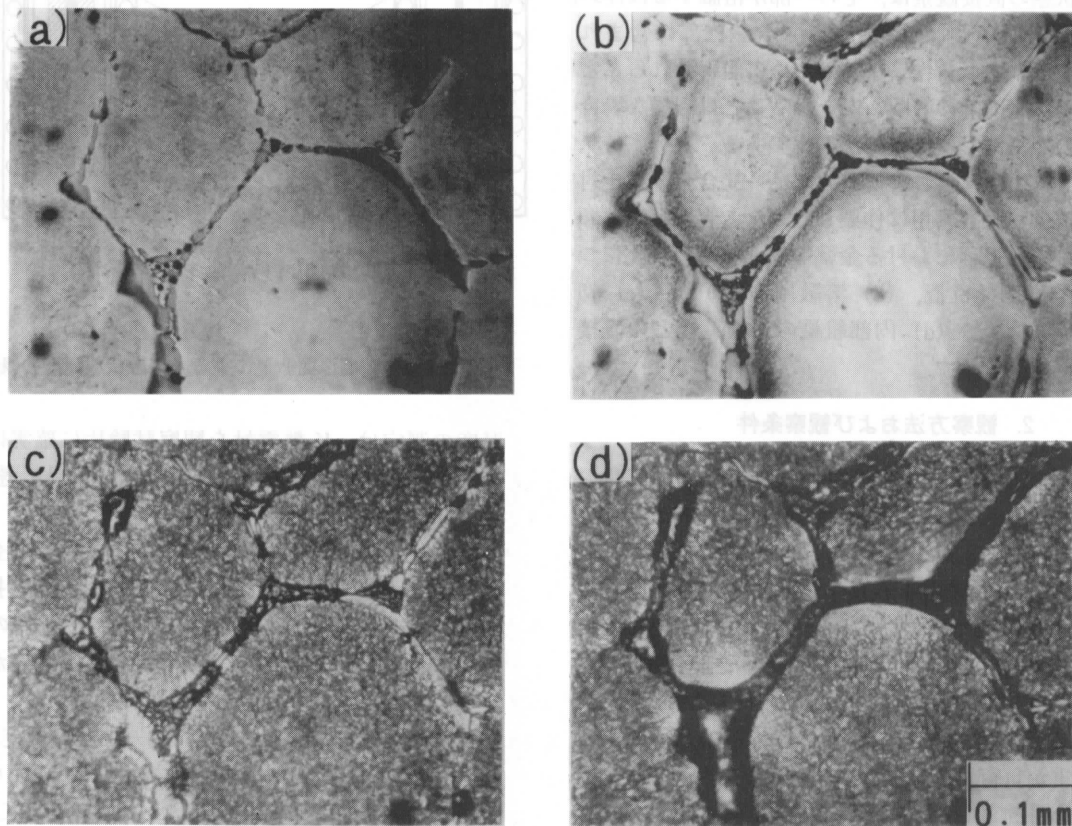


Fig. 2 観察に用いた試験片の冷却曲線

分が点状に発生し、粒界に存在するいずれかの相が溶融し始めることが分かる。(3) さらに加熱し、531°C 以上になると、粒界部に発生した溶融部分が帯状に広がり、粒界全域を占めるようになりかつ拡大していく。すなわち粒界全域に液相成分が存在するようになる。(4) またこの温度になると、粒内にも細かな点状の凹凸が発生し、加熱と共に表面にシワ状の凹凸が目立ってくる。すなわち、粒内



(a) 403°C (b) 510°C (c) 514°C (d) 520°C

Fig. 3 A2017の半溶融状態の観察結果

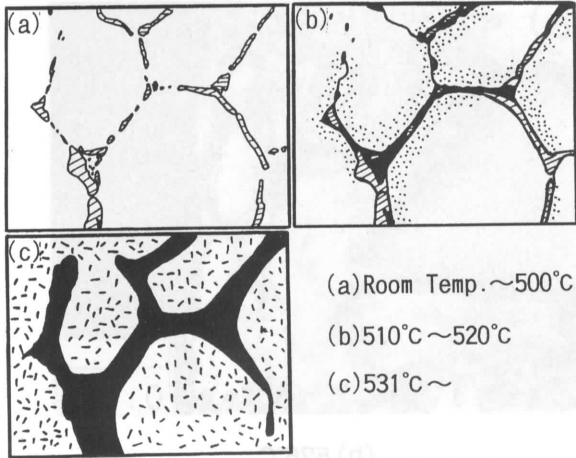
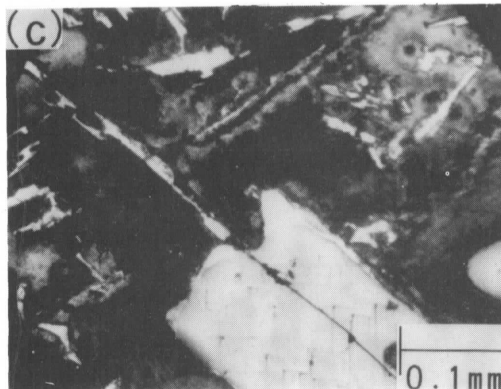
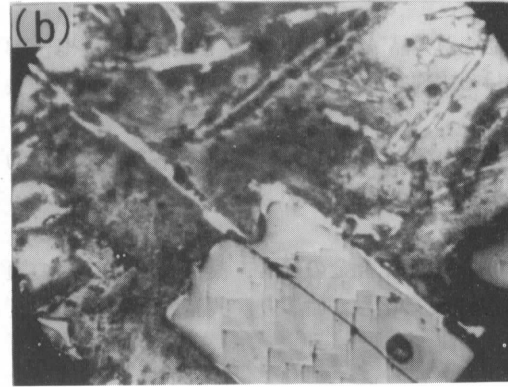
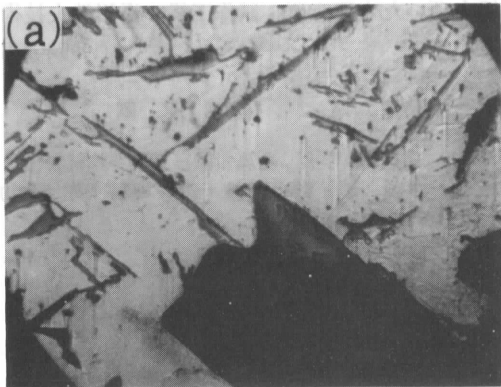
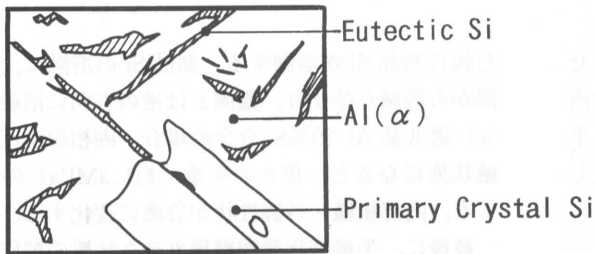


Fig. 4 A2017の半溶融状態観察結果の説明図



(a) 403°C
(b) 607°C
(c) 640°C

Fig. 5 Al-29%Si 合金の半溶融状態の観察結果

にも液相成分が発生してくることが分かる。

3-2. Al-29%Si 合金の観察結果

Fig. 5 は Al-29%Si 合金の溶融過程の観察結果を示す。これらの結果より以下のことが分かる。

Al-29%Si 合金は過共晶合金であるために、(1) 室温から576°Cまでは、白地で示される Al (α 相) のマトリックスの中に、方向性のある粗大化した初晶 Si と棒状または板状の共晶 Si が混在した組織となっている。(2) さらに加熱を続けると、まず、共晶 Si が溶解し、次に、初晶 Si が外周部から次第に溶け始める。(3) その際凝固時に方向性をもって成長した初晶 Si の遅れて凝固した部分から先に溶解する。(4) 更に、共晶で晶出した各相は Al 中に溶解込み、 α 相に変化していく。

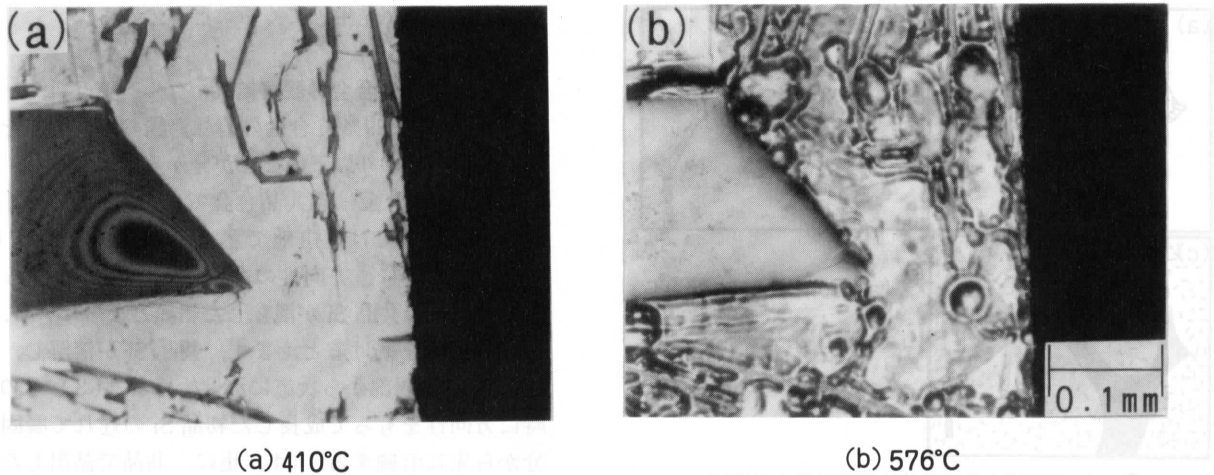


Fig. 6 Al-29%Si 合金の圧縮荷重を加えた場合の観察結果

Fig. 6 は Al-29%Si 合金の試験片に圧縮荷重を負荷させた際の観察結果を示す。576°C の固相線温度直下までは内部組織の変化は見られない。しかし、固相線温度を越え半溶融状態に入ると、 α 相 (Al) と共晶 Si が大きく変化しかつ外形状も崩壊してくることが観察される。

4. ま と め

A2017 合金、過共晶 Al-29%Si 合金を観察対象とし、溶融過程における内部組織の変化を観察し、概略以下の結果を得た。

(a) A2017 合金の場合、溶融は結晶粒界の各部から局部的に起こり、次第に溶融域が拡大し連結して全粒界へ広がっていく。

(b) 過共晶 Al-29%Si 合金の場合、凝固過程とは逆の順序で、まず共晶 Si の溶融が始まり、共晶 Si が溶融し終え

た後に初晶 Si が溶融する。初晶 Si の溶融は、析出終了端部から溶融が始まり、凝固とは逆の方向に溶融が進行する。(c) 過共晶 Al-29%Si 合金の場合、固相線温度を越え半溶融状態になると、僅かの荷重 (約 1.3MPa) の作用に対しても、内部組織・外観性状が急激に変化する。

最後に、半溶融状態観察用ガラス装置の製作にあたりご協力頂いた本研究所・試作工場 滑川敏夫技術官に謝意を表す。
(1995年7月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 日本金属学会 金属組織写真集非鉄材料編, (1972).
- 2) 木内 学・杉山澄雄・新井博男: 塑性と加工, 20-223 (1979), 762.
- 3) 関口秀夫・杉山澄雄・木内 学: 昭63春塑加講論, (1988), 171.