

204 溶質偏析を有するアルミニウム合金におけるすべり線の発生・進展過程

埼玉大学 工 加藤 寛, 教育 松尾政弘, 工 星野光男
工 中村雅明, 原 良一, 吉川敬治

1. 目的

金属材料の強度特性を考える上で結晶粒内の降伏過程を明らかにすることは重要であり、従来より多くの研究が行なわれてきた。その結果、結晶粒内が均質かつ一様であれば、すべり線は結晶粒界近傍で最初に発生し、粒内に進展していくことが双結晶などを用いて観察されている。ところが、金属材料の多くは結晶粒内に異相が存在しており、また、合金元素の局在である溶質偏析が共存する場合も多い。このような材料に外力が作用した場合には、結晶粒内に存在する異相および溶質偏析が材料の変形に大きく影響すると考えられる。本研究では、結晶粒内に溶質偏析および異相を含む金属材料を変形させた際の結晶粒内変形過程を明らかにすることを目的として実験を行なった。まず、結晶粒内変形を連続的に観察するために走査型電子顕微鏡(SEM)を用いることとし、本実験用の真空試料室、引張負荷装置などを製作した。次に、材料変形に及ぼす結晶粒界の影響を除くために粗大な結晶粒よりなるAl-4 mass % Cu合金鉄塊を作製した。得られた鉄塊より引張試験片を切り出し、SEM下で引張変形させつつ、試験片表面の観察および写真撮影を行なった。

2. 実験

2.1 実験装置

走査型電子顕微鏡下で引張試験を行なうために、真空試料室、引張負荷装置、負荷装置支持台を作製した。

真空試料室は図1に示すような大型の円筒容器(内容積 32.3 l)である。内容積が大であるので、SEM観察に必要な真空度を得るために排気には2組の真空ポンプを用いた。このうちの1組は電子銃フィラメントの保守のためにフィラメント近傍の鏡筒に配管し、他の1組は試料室の下面に配管した。試料室側面および下面には、引張負荷装置および負荷装置支持台に駆動力を伝達するための回転導入端子、引張試験片に貼付したひずみゲージおよび負荷装置のロードセルからの出力を外部に取り出すための電流導入端子が取り付けてある。

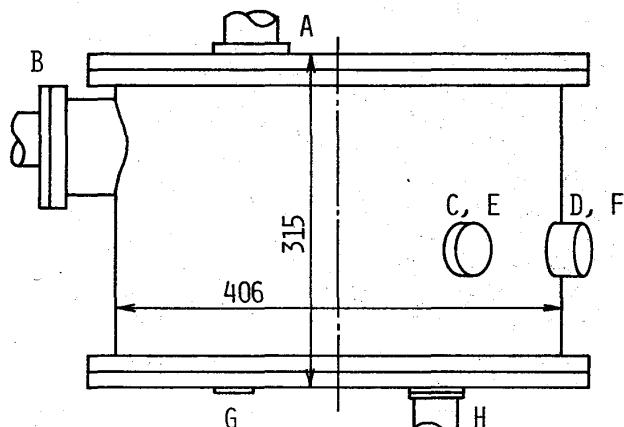


図1 真空試料室概略図

- A: 鏡筒 B: 信号検出器
 C ~ E: X, Y, Z軸用回転導入端子
 F: 負荷装置駆動用回転導入端子
 なお, E, FはそれぞれC, Dの反対側
 G: 電流導入端子 H: 排気用バルブ

また、図では省略したが、試料室上面には電離真空計が取り付けてある。

引張負荷装置の概略を図2に示す。負荷装置は最大10kN(約1000kgf)までの負荷が可能である。また、負荷装置は支持台上の移動テーブルにのっており、X、Y方向に25mm、垂直方向に22mmの移動が可能である。

2・2 試験片の作製

1030K(760°C)に加熱したAl-4mass%Cu合金溶湯を、水冷銅板上にのせた砂型(1070K(800°C)に予熱)に注湯した。なお、材料内の結晶粒を粗大化させることを目的として、鋳塊形状をクランク形とした。すなわち、凝固初期には鋳塊下端から上方へ一方向凝固させるが、途中で熱流方向を変えることにより、成長途中の柱状晶のうちからある限られた結晶粒のみが成長を続けるようにした。

得られた鋳塊の縦断面の観察により粗大結晶粒が成長していることを確認(図4参照)した後に、柱状晶成長方向に対して引張軸が直交するよう試験片を切り出した。引張試験片の形状および寸法を図3に示す。

2・3 引張試験片およびSEM観察

得られた引張試験片を真空試料室内の引張負荷装置に取り付け、引張変形させた。引張速度は測定しなかったが、SEM像が大きくゆれない程度に引張った。また、荷重を増すに従って視界が移動するので、移動テーブルを調整することにより観察位置を一定に保った。なお、試験片の裏面にひずみゲージを貼附し、試験時のひずみを測定した。

所定の荷重あるいはひずみを与えるごとにSEM観察および写真撮影を行なった。

3. 実験結果および考察

3・1 鋳造組織

得られた鋳塊の縦断面を図4に示す。水冷銅板に接した鋳塊下端ではチル層が発生し、ついで柱状晶に発達して上方に成長している。しかし、途中から熱流方向が変化するために柱状晶の成長が妨げられ、図中の左側にある鋳型の内壁から新たに結晶粒が発生している。この結晶粒の発生数は限られるために、個々の結晶粒は粗大なものとなって

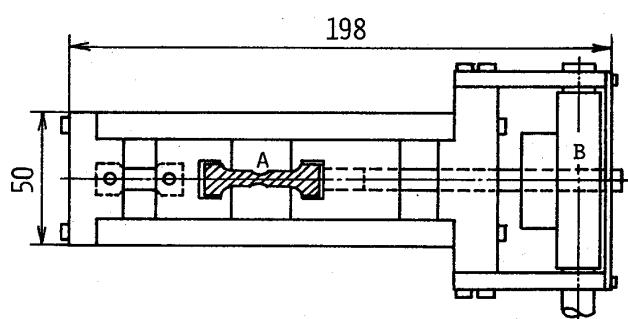


図2 引張負荷装置概略図

A:引張試験片 B:ウォームギヤ

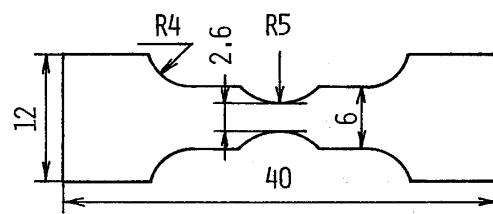


図3 引張試験片寸法

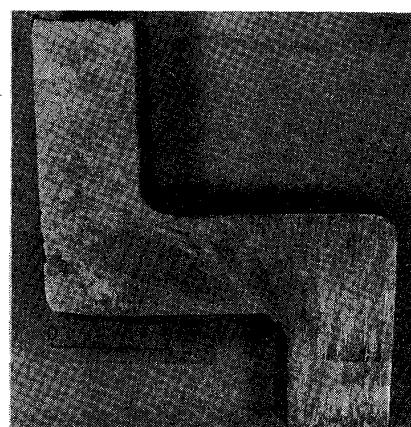


図4 鋳塊縦断面組織

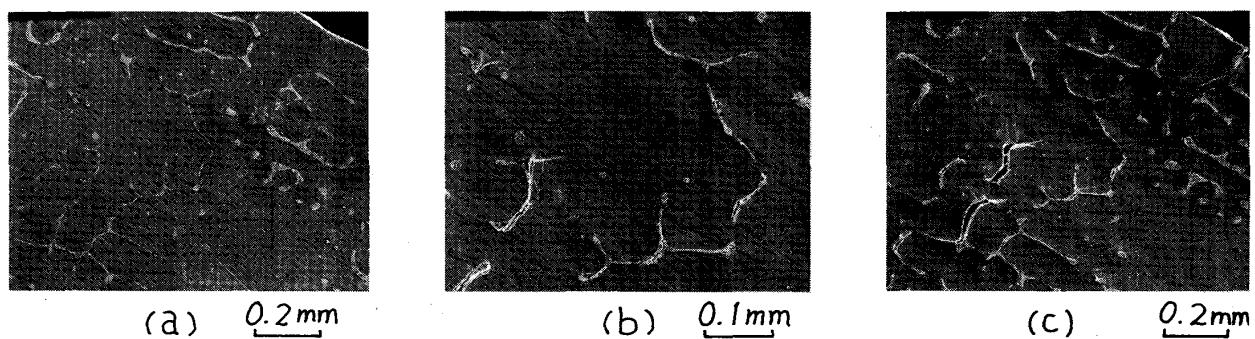


図5 結晶粒内すべりの進展過程

- (a) $\sigma = 0 \text{ MPa}, \varepsilon = 0.0\%$ ← 負荷方向
 (b) $\sigma = 132 \text{ MPa}, \varepsilon = 4.2\%$
 (c) $\sigma = 153 \text{ MPa}, \varepsilon = 6.8\%$
 (d) 共晶量の少ない試験片, $\sigma = 100 \text{ MPa}$

いる。各結晶粒の寸法を測定した結果によれば、柱状晶の平均結晶粒径は上端部で約 0.6 mm であり、途中から発生した結晶核では約 1.1 mm であった。鋳塊は4個作製したが、最大結晶粒径は各鋳塊で 20 mm 以上あり、本実験に対して充分な大きさであった。

3・2 結晶粒内変形過程

粗大結晶粒を中心に来るよう引張試験片を作製し、引張試験を行なった。結晶粒内変形過程の一例を図5に示す。写真より、最初のすべり線が母相-共晶境界に発生しているのが観察される。発生したすべり線は、樹枝状偏析の枝部に発達している。図5(d)は共晶量の少ない試験片の例であるが、すべり線が枝部を進展している。

3・3 降伏強さと共晶量との関係

0.2%耐力 σ_y^* およびすべり線がSEM写真(200倍)中に観察され始めた時の応力 σ_y^* と、共晶量との関係を図6上に示す。また、算出したシユミット因子と上記応力より臨界応力 τ_c^* 、 τ_c^* を求めた。結果を図6下に示す。臨界せん断応力は共晶量に従って増加するがわかる。

終りに、本研究は昭和57年度文部省科学研究補助金(試験研究(2))、研究代表者 吉川敬治の援助を得て実施したものであることを記し、謝意を表する。

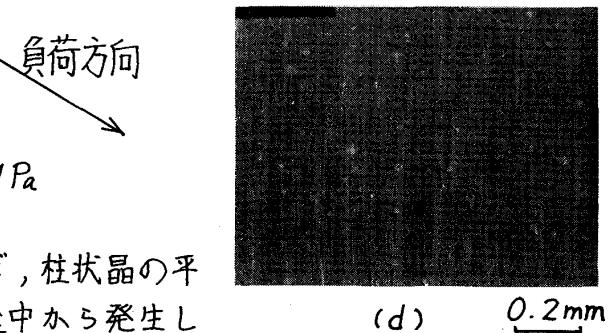


図6 各降伏強さと共晶量との関係