

氏 名	松 木 賢 司 まつ き けん じ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1073 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	アルミニウム合金の微細結晶粒超塑性に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 村上陽太郎 教授 高村仁一 教授 足立正雄

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、微細結晶粒超塑性の研究は、従来共晶あるいは共析組成で代表される 2 相合金に限られていたが、金属間化合物の微細粒子によって再結晶粒成長を抑制すれば超塑性が得られることを予想して、数種の Al 基単相合金について、超塑性特性、変形挙動および超塑性機構を検討し、また 2 相合金との比較も行なった研究結果をまとめたもので、8 章からなっている。

第 1 章は緒言で、従来の研究で判明している超塑性の金属組織学的特徴と、超塑性機構に関する諸説の概略と問題点を述べ、本研究の目的と方針とを明らかにしている。

第 2 章では、 $ZrAl_3$ 微細析出粒子の分散によって得られた平均結晶粒径 7～8 ミクロンの 3 種類の単相 Al-Zn-Mg 合金について、ひずみ速度急変法によって流動応力のひずみ速度感受性指数 m と破断伸びの測定を行ない、単相合金であっても等軸微細粒組織が維持される場合には、適当な変形温度とひずみ速度のもとで著しい超塑性を示すことを始めて明らかにした。

第 3 章では、微細析出粒子を含む Al-9.3% Zn-1.03% Mg 単相合金を用いて、変形中の表面組織観察を行ない、塑性伸びが大きい場合には全伸び (ϵ_t) と粒界すべりによる伸び (ϵ_{gb}) との比 ϵ_{gb}/ϵ_t が大きくなり、またこの比が大きい場合には m 値も大きいことを見出し、粒界すべりが超塑性伸びに大きく寄与すること、一方透過電子顕微鏡による内部組織観察から、超塑性変形中には単一すべりに近い結晶学的すべりが起こり、これが結晶粒界すべりに起因する応力集中の緩和機構として重要な役割をはたすことなどを明らかにしている。

第 4 章では、超塑性変形中における結晶粒の相対的運動を究明するため、前章と同じ合金を使用し、試料内部に酸化物粒子を配列させて作ったマーカー線の変位の測定から、超塑性変形は 4 個の隣接結晶粒が一単位となって、結晶粒界すべりと結晶粒回転が起こる隣接粒変換過程にもとづいて伸びの増大が生じることを確認し、Ashby らの提唱したスイッチング機構を初めて実証し、かつ修正したモデルを提案している。一方変形中の (111) ならびに (200) 極点図における集合組織の集積度の変化の測定から上記の変換過程に必要な調整ひずみに対して結晶学的すべりの寄与が大きいことなどを明らかにしている。

第5章では、Al-Zn-Mg 単相合金の超塑性変形にともなうポイドの生成と成長過程を組織観察と密度測定から検討し、ポイドの生成は第2相粒子を含む結晶粒界で優先的に起こり、粒界すべりがその生成と成長に寄与すること、ポイドの容積率 (V_f) は塑性伸びとともに3段階に増加速度が増大し、ステージIとIIでは V_f と変形時間 (t) との間に $V_f \propto t^c$ の関係が成立し、定数 c の値が異なること、さらにステージIIIの過程では内部ネッキングに起因するポイドの連結が起こって、最終破断が生じることなどを見出し、大きな塑性伸びを得るための条件について議論している。

第6章においては、Al-6% Mg 合金に微量の Zr, Cr, および Mn を添加し、高度の冷間加工と焼鈍を施すことによって、平均結晶粒径 7.6 ミクロンの単相微細等軸粒組織が得られるが、この合金も単相組織にかかわらず、520°C の変形で 0.6 以上の高い m 値と約 900% の破断伸びを示し、顕著な超塑性特性を有すること、また本合金においても顕著な粒界すべりと結晶粒内における転位の運動が確認されるが、さらに圧延方向に対して $0^\circ, 44^\circ$, および 90° の各方向から採取した試料を用いて行なった集合組織を異にした場合に認められた流動応力の相違は、結晶粒内で活動するすべり系との関連で説明できることなどを明らかにしている。

第7章は、Cu 量が 6, 20, および 33% (共晶組成) の3種類の Al-Cu 合金において、組織をそれぞれ α 単相, 化合物 θ (CuAl_2) 相と α 相との容積比 1 : 3, および 1 : 1 に変化させ、平均結晶粒径は約 7.7 ミクロンにそろえた3種類の組織について、単相と2相合金との超塑性挙動の比較検討した結果で、とくに θ 相の容積率の増大にともない、 m 値が最大を示すひずみ速度が高速度側に移行することを見出し、透過電子顕微鏡観察と集合組織の変化から、この傾向の原因は剛性率の著しく大きい θ 相の容積率の増大にともなって α 相における結晶学的すべりが抑制され、拡散流動の重要性が相対的に増大することから説明できることなどを明らかにしている。

第8章は本論文の総括である。

論文審査の結果の要旨

微細結晶粒超塑性の研究は、従来共晶か共析のような2相合金が主であったが、2相共存は結晶粒微細化に有利なだけで、超塑性の本質的条件かどうかは明確でなかった。本論文は Zr 等の遷移元素の微細な化合物粒子を巧みに析出させて再結晶粒成長を抑制した数種の単相 Al 合金について、それらの超塑性挙動と機構とを系統的に究明し、また2相合金との比較をも行なった研究結果をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) Al-Zn-Mg, Al-Mg, Al-Cu 系単相合金について、ひずみ速度急変法を用いて、流動応力のひずみ速度感受性指数 m と破断伸びの測定を行ない、単相合金であっても、数ミクロン程度の等軸粒組織が維持されれば、適当な変形温度で広いひずみ速度範囲にわたって、0.3 以上の高い m 値と大きな破断伸びを示して、著しい超塑性が得られることを初めて明確に実証した。

(2) これらの合金の超塑性変形中の表面結晶粒組織の観察から結晶粒は等軸のまま変化しないが、著しい粒界すべりと結晶粒回転が起こることを見出し、また全伸びに対する粒界すべりによる伸びの割合が極めて大きいことを実測値によって示し、 m 値も同時に増大することを見出し、粒界すべりが重要な変形

機構であることを確認している。さらに(111)および(200)極点図の集積度の変化から、初期の再結晶集合組織は塑性伸びの増大にともなうランダム化する傾向を確認し、これは粒界すべりにともなう結晶粒回転に起因すること、一方試料内部に導入した酸化物粒子のマーカ線の変位の観察から、超塑性伸びの増大は、4個の隣接結晶粒が一単位となって、各結晶粒が順次隣接粒を変換する過程によって起こるとする Ashby らが提唱したスイッチング機構を初めて実証し、かつより一般化した新しいモデルを提出した。

(3) 次に内部組織の透過電子顕微鏡観察によって、合金中の微細な分散粒子は試料中の運動転位のピン止め作用をして、転位の運動を知る上に極めて有効に働かし、超塑性変形後の結晶粒内には粒界から発生したと考えられる比較的直線状の転位の配列の確認を可能にし、上述の粒界すべりと同時に結晶粒内で単一すべりに近い結晶学的すべりが起こること、一方非超塑性条件下の変形では、転位網あるいはセル組織の形成が起こることを確認し、このような超塑性変形における結晶粒界すべりと結晶学的すべりとの間には Ball らの提案した超塑性変形機構を実証するものであることなどを明らかにした。

(4) 超塑性変形にともなうボイドの核生成と成長について多くの知見を得るとともに、Al-Cu₂相合金において剛性率の著しく大きい θ (CuAl₂)相の超塑性に対する寄与を解明した。

以上要するに、この論文は微細析出粒子の分散によって結晶粒を微細化した場合には、単相合金であっても顕著な超塑性が得られることを数種の Al 合金について実証し、それらの超塑性挙動と超塑性変形機構に関して多数の新しい知見を与えたもので、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文とし診価値あるものと認める。