

氏 名	遠 藤 孝 雄 えん どう たか お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 282 号
学位授与の日付	昭 和 47 年 1 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 冶 金 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	HIGH TEMPERATURE PLASTIC BEHAVIOURS OF ALUMINIUM ALLOYS (アルミニウム合金の高温塑性挙動)

(主 査)
論文調査委員 教 授 足 立 正 雄 教 授 高 村 仁 一 教 授 村 上 陽 太 郎

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は Al 及び Al 合金の高温塑性挙動を取扱ったもので、主な内容としてはクリープのような定常変形での歪速度が、活性化機構としての転位の運動により決定されるものとして、熱力学的な種々のパラメーターを測定して変形機構を論じたもので、5章から成立っている。

第1章は従来の研究の総括とこの研究の目的及び研究内容の概要を述べたものである。

第2章では Al に少量の固溶元素として Zn, Si, Mg, Ge, Cu を加えた場合の種々の温度での変形応力、歪についての測定結果を述べ、Cu を含む合金での jerky flow についても述べている。又これらの合金の歪速度感受性は変形応力が大きい程大きく、活性化体積は変形応力が大きくなると減少し、このことは活性化転位部分の長さが 3.5μ から 0.5μ 程度に変化することを示しており、又活性化エネルギーの測定値をも考慮すれば、これらの合金の変形機構はジョグをもつらせん転位の非保存運動として説明されるとしている。

第3章ではクリープ変形あるいは定常変形での歪速度が、活性化機構としての転位の運動により決定されるものとしての熱力学的な取扱いについて述べ、活性化機構モデルについて検討している。次いで変形強度に対する影響の異なる Zn, Mg を選び、Al に似た挙動の Al-Zn 合金、少し異なる挙動を示す Al-Mg 合金について、固溶量を第2章の場合より増した合金についての結果を述べている。

Al-Zn 合金では定常変形速度の応力指数はほぼ一定で 4.5、活性化エネルギーは 1.6 eV 程度の値が求められている。又歪速度急変試験から、応力増加率が歪速変化比の対数に比例することが明らかにされており、比例定数を δ とするとこの値は温度、応力、合金濃度によっても変化しないことを述べている。さらに短範囲応力と全応力の比を f とすると、 f が一定であれば転位の平均速度が応力の (f/δ) 乗として表わされるので、歪速度と応力との関係から求められる応力指数から f を計算すると 0.3 となり、Ahlquist らが他の方法で求めた Al での値に等しいことを示している。次いで f/δ の意義について考察し、活性化体積と短範囲応力との関係を明らかにし、変形支配機構モデルについて考察を加えている。

Al-Mg 合金では、先ず応力—歪曲線の特徴を述べ、定常変形速度の測定、歪速度急変試験などから、応力指数の値は Al の場合より小さく、Mg 濃度が増すと Zn の場合と異なり 3 に近く減少することを示し、定常変形の活性化エネルギーをも測定している。又活性化体積と Mg 濃度、応力との関係についても述べ、活性化体積の温度、応力依存性は Al-Zn 合金の場合と本質的な相違点はなく、変形支配機構としても差がないことを述べている。次いで応力比 f の計算値について述べているが、Al-Mg 合金では δ の値が Mg 濃度に依存し、又応力指数も Mg 濃度に依存するため、 f は用いた歪速度により生じる応力に依存するけれども、Mg 濃度が増せば増加することを示し、 f の濃度依存性、応力依存性についても述べている。

第 4 章ではクリープ変形中の試片を急冷したものから電子顕微鏡透過観察用の薄片を作り、観察した結果らせん転位の存在が確認されており、亜結晶粒内の転位密度の測定の結果、定常変形応力と転位密度の平方根が比例することが認められ、さらにジョグ間隔の平均値は活性化体積からの計算値と一致することが述べられている。

第 5 章は総括であって結果を総括して述べたものである。

論文審査の結果の要旨

金属の塑性挙動は一般には極めて複雑であるが、高温においては回復を伴うので、クリープのような低歪速度の変形では一定応力下で一定の歪速度を示す定常変形を生じ、比較的簡単な実験式に従うようになる。このような高温変形機構のモデルとしてはいくつかの提案があり、刃状転位の上昇運動に基づく理論と、ジョグをもつらせん転位の非保存運動に基づく理論とが有力であるが、未だ不明確な点が多い。

著者は主としてこのような定常変形の機構を明らかにせんとして Al 固溶体合金をとり上げたもので、その際定常変形応力が剛性率の温度依存性のみによって支配される応力（長範囲応力あるいは内部応力）と、温度と歪速度とに依存する応力（短範囲応力あるいは有効応力）との和で示されることを用い、転位の活性化運動の熱力学的な取扱いを示し、歪速度急変試験による応力増加量の測定値から求められる活性化体積などの検討、温度急変試験による歪速度変化量から求められる活性化エネルギーの検討などを行った。また電子顕微鏡透過観察を行い、転位密度などの測定をも行っている。その主な成果を次に示す。

1. 0.1 at 以下の % Ge, Cu, Mg³, Si, Zn を固溶する二元素 Al 合金で、基準の歪速度を $2.8 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ とした場合の 300°C 以上の温度での活性化体積は $3 \times 10^{-19} \sim 4 \times 10^{-20} \text{ cm}^3$ の値をもち、活性化に寄与する転位の部分の長さは $0.5 \sim 3.5 \mu$ であった。さらに Al の変形強度への影響の小さい Zn、影響の大きい Mg の固溶量を増して活性化体積と応力との関係を研究し、Al-Zn 合金では溶質濃度に関係なく活性化体積が全応力に逆比例する結果を得た。Al-Mg 合金でも、低濃度ではやや溶質濃度に依存するが、約 1 at % Mg 以上の濃度の合金では、同様の結果を得た。
2. Al-Zn 合金について歪速度急変試験で得られた変形応力の増加率は、急変後と急変前の歪速度の比の対数に比例し、かつこの比例定数を δ とすると、 δ は温度、応力、合金濃度に関係に一定値をもつことを見出した。 δ の値は Al-Mg 合金では Al-Zn 合金と異なり、Mg 濃度が少ないときは濃度に依存するが、約 1 at % Mg 以上の濃度の合金ではほぼ一定となることが、歪速度変化の比を一定とした

とき、変形応力増加量が変形応力に比例することからも確かめられた。

3. δ の物理的意義は転位の活性化運動の際の仕事量（活性化体積と有効応力の積）に関係の深い値、すなわち活性化体積と全応力の積の kT (k はボルツマンの定数, T は絶対温度) に対する比である。
4. 有効応力の全応力に対する割合を f とすると, f がもし一定であれば, δ が一定であることから, 一定温度では活性化体積は有効応力従って全応力に逆比例する事実を説明することができ, f が一定であることを示唆する。
5. 転位の運動の平均速度は, ある応力範囲では全応力の m 乗に比例することが LiF, Fe-3% Si 合金などで報告されているが, f が一定であれば理論式と比較して $m = m^* = f/\delta$ となる。 m, m^* は一定であることが期待され, かつ δ は一定であるから f も一定であることが期待される。
6. f が一定であれば, 活性化体積が有効応力に逆比例するので, 理論式から歪速度が全応力の n 乗の項と活性エネルギーに関係する項の積で示される実験式を導くことができる。実験結果はこの実験式によく一致している。またこのときの活性化エネルギーは, 応力が働かないときの基準の活性化エネルギーに対応する。
7. 活性化エネルギーの測定値は 250°C 附近以上の温度では, すべて 36 K cal/mole 程度の値で, 弾性率の温度依存性を考慮すると, Al の自己拡散の活性化エネルギーに等しいといわれている値であった。この値はジョグをもつらせん転位の非保存運動にも適する値である。
8. 電子顕微鏡観察により, 亜結晶粒内の転位密度の平方根が全応力に比例することを見出し, 可動転位密度がこの転位密度に比例するものとして, 6 に示した n の値から f を計算した。Al-Zn 合金では n の実測値は温度・濃度に無関係にほぼ 4.5 であることから, f はほぼ 0.3 なる一定値を示す。
9. 電子顕微鏡観察により, らせん転位の存在を確認し, ジョグ間隔の平均値を計算した。活性化体積の測定値から求められる値は, この値と同程度であった。

以上要するにこの論文は主として Al 合金の高温での定常変形機構を研究し, 固溶元素の種類が異なっても, これらの合金の変形機構が本質的に異なるものではなく, ジョグをもつらせん転位の非保存運動に基づく理論によりよく説明されることを示したばかりでなく, また理論式と実験式を結びつけたもので, Al 合金の高温塑性挙動に多くの新しい知見を加え, 学術上, 実際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て価値あるものと認める。