

氏 名	赤 松 勝 也 あか まつ かつ や
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 738 号
学位授与の日付	昭 和 49 年 11 月 25 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	銅およびアルミニウム基複相合金に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 村上陽太郎 教授 足立正雄 教授 田村今男

### 論 文 内 容 の 要 旨

この論文は最近注目されている複相混合組織をもつ合金に関する基礎的知見を得るために Cu および Al をマトリックスとする場合について、混合強化相である金属間化合物自体と複相合金の主として機械的性質と金属組織とのつながりを研究した結果をまとめたもので、9章からなっている。

まず第1章緒言においては金属間化合物の特性、その複相合金中の挙動および複相合金の強化機構に関する従来の研究結果を概説し、本研究の目的と意義を明らかにしている。

ついで第2章では Cu と Al, In, Si, Sn および Zn との各2元系合金状態図中に現われる電子化合物  $\beta$  および  $\gamma$  相をロストワックス遠心鋳造法で調製し、それらについて高温硬さ試験と高温引張試験を行ない、高温硬さはいずれの場合も一定温度で屈折点を示して急激に低下すること、その平均温度として  $\beta$  相では融点  $T_M$  (絶対温度) の 0.62,  $\gamma$  では 0.70 が得られたこと、高温顕微鏡組織および破断面の観察からこの温度を境にして変形支配機構が変化し、低温では迂りが高温では転位の上昇運動や粒界迂りなどの拡散過程が寄与することなどを述べ、これらの結果から Cu 基2元系の  $\beta$  および  $\gamma$  相は  $T_M$  の 60~80% の温度で塑性変形が可能になることなどを明らかにしている。

第3章は Cu-Zn 系の  $\beta$  相を中心に、これに少量の  $\alpha$  および  $\gamma$  相を含む合金を熱間押出法で調製し、常温および高温における機械的性質と組織との関係を  $\beta$  相の規則度の影響を含めて研究した結果である。硬さ  $H$  と温度  $T$  との間には  $H = Ae^{-BT}$  ( $A$  および  $B$  は定数) の関係が存在し、温度による変形支配機構の変化に起因して上式の定数が異なった2組の値をとりうるが組織による変化は少なく、一定温度における組成—硬さの関係において比較的低温では  $\beta$  相の化学量論的組成近傍の試料程その硬さが低いこと、室温の硬さにおよぼす焼入温度の影響として長範囲規則度がほぼ0.5の温度から焼入れた場合最大硬さが得られマトリックス  $\beta$  相の規則度の寄与が大きいこと、応力—歪曲線にはその変形支配機構が主に迂り、迂りと拡散、および主に拡散のそれぞれが支配的である3種類の形状がみられることなどを見出し、また引張強さ  $\sigma_B$ 、耐力  $\sigma_{0.2}$ 、伸び  $\delta$ 、0.2%歪時の加工硬化率の温度依存性などを明らかにしている。

第4章では Co, Cr, Fe, Ti および Zr を含む Cu 基合金について熱間押出と冷間加工で第2相の微細化と均一化を試み、再結晶特性、高温の機械的性質および時効特性を顕微鏡組織と対比させて研究した結果を述べている。再結晶温度は一般に第2相が多い程高くまた軟化の度も小さいことを示し、各合金系の再結晶終了温度を決定している。 $\sigma_B$  および  $\sigma_{0.2}$  は温度上昇とともに次第に低下するが第2相の量が多い程これらの値は高く、 $\delta$  は増大すること、高温における破壊はマトリックスと第2相との変形能の差に起因する割れの発生が原因であることなどを明らかにし、さらにこれらの合金は溶体化処理後の時効によって硬化するためその時効特性を解明している。

第5章は Al をマトリックスとし、これに Ni, Fe, Co, Mn, Mo, Cr, Ti および Zr をそれぞれ1~20%添加し、共晶あるいは包晶反応で生じる金属間化合物を比較的多量に含む試料についての研究結果である。鑄造時に形成される化合物は熱間押出と冷間加工を行っても微細化できないこと、 $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0.2}$  は一般に化合物量に比例して高くなるが、高温ではその割合が少なくなること、 $\delta$  は一般に含有元素量の増大とともに減少するが250~300°C で急激に増大する傾向がみられること、Mn, Ti, Cr, Zr を含むそれぞれの合金系では低温ならびに高温時効が生じることなどを見出し、特に時効現象についてその挙動の詳細を明らかにしている。

第6章は Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni および Zr をそれぞれ含有する2元系 Al 合金を直径 3.4mm の銅製金型に遠心力を利用して急冷凝固させて調製した強制固溶体合金に関する研究で、まず Al 中への最大強制固溶量を X 線回折法による格子定数の測定によって決定し、それぞれ 1.3% Co, 1.0%Cr, 2.0%Fe, 3.0%Mn, 0.7%Mo, 1.4%Ni および 1.2%Zr の値を得、次に等速加熱にともなう示差膨張および電気抵抗変化の測定から強制固溶体の分解温度を決定し、時効硬化性についても解明している。

第7章は第2相化合物を含む実用鑄物用 Al 合金を金型鑄造後、比較的高温で鑄型からはずして水中に焼入し、溶体化処理を省略するいわゆる鑄造焼入法の研究結果である。JIS AC-5A, AC-8A, および AC-8C 合金に対しては従来の焼処理法に近い硬さが得られること、HS-C 合金では全く遜色のないことなどを見出し、鑄造焼入れの場合の最適時効温度は従来の熱処理法の場合よりも低温側にずれるので工業的に有利であることなどを明らかにし、かつ二段時効処理の適用の可否をも解明している。

第8章は Cu および Al 基繊維強化複合材料の研究である。まず Cu に W, Mo および Ta 繊維を溶浸法で複合させた試料について室温および高温の機械的性質を検討し、溶浸法では濡れ性が第一に重要であって試料調製の際の真空度が濡れ性を支配する主要な因子であること、Mo 繊維は 900°C 以上で再結晶を起し弱化するが複合材料を冷間加工することによって強度の改善が可能であること、これらの Cu 基複合材料は高温導電材料として有望であることなどを述べ、複合材料の機械的諸特性を明らかにしているが、W繊維強化 Cu 基複合材料については特に詳細な解明を行なっている。さらに複合材料の製造法として、炭素繊維に Cu を電解鍍金した後、積層熱間プレス法で調製する方法を試み、鍍金条件、プレス温度および圧力などの因子を明らかにしている。一方不連続炭素繊維を含む Al 基複合材料の製造法として、ランダム方位の炭素繊維を含むビレットを溶浸法で作製し、熱間押出および冷間線引で繊維を加工方向に整列させることに一応の成功をおさめたが、なおアスペクト比、繊維とマトリックスとの界面などの問題があることを指摘している。さらに溶浸法で Al マトリックスにW繊維を複合させたときの界面層

の形成は拡散支配であること、界面層内のW側に金属間化合物が形成されること、界面層の厚さの増加はそれに伴うW線の断面積の減少とあいまって材料の機械的性質を低下させるので反応層は接着性を確保する程度にできるだけその厚さが薄いことが望ましいことなどを明らかにして、繊維強化複合材料に関して多数の知見を与えている。

第9章は本論文の総括である。

### 論文審査の結果の要旨

最近複相混合組織をもつ金属材料が実用的にも基礎的にも注目されているが、この論文は銅およびアルミニウム基合金について、強化の役割を荷う金属間化合物自体の特性、その合金中における挙動、および複相合金の主として機械的性質と金属組織とのつながりを研究した結果をまとめたものである。

まず Cu と Al, In, Si, Sn, および Zn との各2元系状態図にあらわれる電子化合物 $\beta$ および $\gamma$ 相をロストワックス遠心铸造法で調製した試料の高温硬さは、ほぼ一定温度で屈折点を示してそれ以上の温度で急激に低下すること、その温度の平均値として $\beta$ 相では融点  $T_M$  (絶対温度) の0.62,  $\gamma$ 相では0.70が得られたこと、高温顕微鏡組織と破断面の観察からこの温度を境にして主なる変形支配機構が迂りから拡散過程に変化すること、従って一般に  $T_M$  の60乃至80%の温度以上でこれらの化合物相の塑性変形が可能になることなどを見出し、つぎに熱間押出法で調製した Cu-Zn 合金系の $\beta$ 相を中心とし少量の $\alpha$ あるいは $\gamma$ 相を含む組成範囲の合金において、硬さ H と温度 T との間に  $H=Ae^{-BT}$  (A および B は定数) が成立し、この関係には $\beta$ 相の変形支配機構の変化に起因する屈折点を生じること、長範囲規則度がほぼ0.5の温度から焼入れた場合に室温の硬さが最大になり、組成の変化よりもマトリックス $\beta$ 相の規則度の変化が硬さに大きく影響すること、応力-歪曲線には試験温度によって迂り、拡散、および両者の混合した3段階の変形支配機構に対応した形状が見られることなどを見出し、引張強さ、耐力、伸び、および加工硬化率などの機械的諸特性の温度依存性を詳細に解明している。

次いで Cu をマトリックスとし、Co, Cr, Fe, Ti および Zr のそれぞれを約10%まで含有する合金系、ならびに Al をマトリックスとし、Ni, Fe, Co, Mn, Mo, Cr, Ti, および Zr のそれぞれを約20%まで含有する合金系で、共晶あるいは包晶反応で生じる金属間化合物を比較的少量に含む Cu および Al 基合金に関して、熱間押出と冷間加工によって第2相の微細化と均一化を試み、これらの各合金系の再結晶特性、高温機械的性質ならびに時効特性などを詳細に解明し、さらに Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, および Zr をそれぞれ含有した2元系 Al 強制固溶体について、それらの最大強制固溶量を決定するとともに、分解挙動と時効特性を明らかにし、一方実用 Al 合金鑄物の鑄造焼入法を新しく提案している。

さらに Cu および Al 基繊維強化複合材料に関して、W, Mo, および Ta の金属細線と炭素繊維を用いた場合のそれらの製造法と常温ならびに高温の機械的性質を明らかにし、とくに製造法として、銅-炭素繊維系の場合には積層熱間プレス法を、アルミニウム-不連続炭素繊維系では熱間押出法を提案し、多くの問題点を明らかにしているが界面状態が最も重要であることを見出し、接着性を確保する程度でできるだけ薄い反応層の形成が望ましいことなどを明らかにしている。

これを要するにこの論文は、Cu および Al 基複相合金に関して基礎的ならびに工業的に多くの金属組

織学的知見を与えたもので、学術上にも工業上にも寄与するところは少なくなく、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。