

氏 名	田 上 道 弘
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )
学位授与年月日	平成 4 年 9 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 43 年 3 月 室蘭工業大学大学院工学研究科修士課程 金属工学専攻修了
学 位 論 文 題 目	鑄造用高アルミニウム亜鉛合金に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 新山 英輔    東北大学教授 池田 圭介 東北大学教授 花田 修治

## 論 文 内 容 要 旨

現在一般に使用されている鑄造用亜鉛合金はアルミニウム量を約 4% 含有し、低融点で鑄造性が優れているため、ダイカスト用合金として精密機械や自動車部品に工業的に用いられている。この合金に対して機械的性質の改善や軽量化が要求されてきたが、これまで鑄造品の薄肉化やアルミニウム量を多くした高アルミニウム亜鉛合金の開発により対応してきた。しかし、最近、これまでの合金の用途をさらに拡大するために、高強度な合金や減衰能を向上させた防振合金の開発が要求されている。

そこで本論文を構成する一連の研究は鑄造用高アルミニウム亜鉛合金を高強度化させる支配因子と防振合金として減衰能を向上させる支配因子を見出し、亜鉛合金の用途拡大の基礎を明らかにすることを目的として行ったものである。

本論文は第 6 章から構成されており、以下にその概要を述べる。

第 1 章は最初に高アルミニウム亜鉛合金の現状と工業的課題について概説した。さらに、従来の研究と本研究の目的について述べた。

第 2 章では、高アルミニウム亜鉛合金の凝固組織と機械的性質に及ぼす化学組成、冷却速度の影響について検討した。その結果、以下の点を明らかにした。

凝固組織において観察された晶出相とその組成は Zn-Al 二元状態図にほぼ対応して変化した。また初晶  $\beta$  相周辺の粒状組織は共析変態に伴う濃度変化により生成されることが確認された。さらに銅量を 6~9% に増加させた鑄放し材に晶出した  $\epsilon$  相の組成は冷却速度、熱処理により大きく変化せず安定していることを明らかにした。

アルミニウム量を11.5mass%にした亜鉛合金の一方凝固した試料、金型試料および砂型試料の機械的性質を比較した場合、一方凝固試料の引張強さは共析変態付近の冷却速度が大きいため、金型試料および砂型試料の値よりも約10～25%向上した。高アルミニウム亜鉛合金の機械的性質は共析変態付近の冷却速度に大きく左右されることを示した。

0.5mass%までのリチウム添加は固溶強化により、アルミニウム量を11.5mass%にした亜鉛合金の金型試料の引張強度を約20%向上させた。また同じ組成で9 mass%の銅量増加は硬いε相を晶出させるため、金型試料の引張強度を約33%改善した。0.5mass%リチウム添加あるいは9 mass%銅量にした砂型試料の引張強さは、同じ組成の金型試料の値よりそれぞれ約38%、28%低下した。

このように、高アルミニウム亜鉛合金の機械的性質向上に対するリチウム添加と銅量の影響を明らかにした。

第3章では、高アルミニウム亜鉛合金の機械的性質に及ぼす熱処理条件、恒温変態、試験温度および鋼線材による複合化の影響について検討した。

高アルミニウム亜鉛合金の室温における機械的性質（引張強さ）は熱処理によって15～30%の範囲で改善できることを明らかにした。つまり、共析変態以上の温度（633～638K）で0.5～20時間加熱後、水冷却または強制空冷することにより組織は微細化し、合金は強化される。しかし、伸びや衝撃値は熱処理することによって引張強さとは逆に低下した。このように合金の引張強さと伸び、衝撃値の両性質を上記の熱処理によって同時に向上させることはできなかった。しかしながら、アルミニウム量を27mass%にした合金では、共析温度以上で加熱後、423Kで0.3時間（20min）の恒温変態による熱処理により、引張強さは559MPaの最大値を示した。また、373Kで0.3時間（20min）の恒温変態による熱処理により引張強さと伸びはそれぞれ490MPa、14%であり、伸びの最大を示した。恒温変態を利用した熱処理はこれまでの熱処理で得られる機械的性質より靱性の改善に有効であることを明らかにした。

一方、共析変態以下の温度（373～523K）で鑄放し材および熱処理材を時効あるいは安定化処理を行うことにより、伸びおよび衝撃値は向上することを示した。これは共析変態以下の温度で加熱することにより、粒成長が起り、組織が粗大化するためである。

このように溶体化後焼入れ、恒温変態、時効および安定化処理の熱処理は、室温における高アルミニウム亜鉛合金の高強度あるいは靱性の改善に有効であることを示した。さらに、高アルミニウム亜鉛合金の引張強さは室温から373Kの温度範囲では、温度上昇と共に低下し、373Kにおける鑄放し材および熱処理の引張強さは室温の値に比べて41～57%低下した。373Kにおける引張強さは熱処理や銅量の増加により大きく改善できないことを示した。しかしながら、鋼線材（容積率49%）で強化した複合材の引張強さは試験温度323K、373Kでは、非複合材の値よりそれぞれ約30%、90%増大し、複合材の引張強さは温度の上昇により大きく低下しなかった。高アルミニウム亜鉛合金の高温（約373K）における引張強さの改善には鋼線材による強化が極めて有効な方法であることを明らかにした。

第4章では、高アルミニウム亜鉛合金の機械的性質の中で明らかにされていない疲れ強さとき裂伝ば特性について検討した。その結果、高アルミニウム亜鉛合金の疲れ強さは熱処理によって向上

できることやアルミニウム合金鑄物の値にほぼ匹敵することを明らかにした。き裂伝ば速度  $da/dN$  は応力拡大係数  $\Delta K$  の  $m$  乗と比例関係にあり、アルミニウム量や応力の違いにより  $m$  値は 1.91 ~ 3.82 の範囲で変化した。低応力におけるき裂伝ば速度はアルミニウム量の違いによりほとんど変化しないことを明らかにした。

第 5 章では、防振材料としての高アルミニウム亜鉛合金は Zn-Al 二元素で高い減衰能を示すため、防振材料としての視点から、Zn-22mass%Al 合金の減衰能と機械的性質に及ぼす熱処理と添加元素（銅、マグネシウム）および減衰能に及ぼす圧下率と添加元素（銅、マグネシウム、アンモチン）の影響を検討した。その結果、以下の点を明らかにした。鑄放し材を 633K で 2 時間加熱後水冷した試料の内部摩擦値 ( $Q^{-1}4.5 \times 10^{-2}$ ) は 373 ~ 523K の再加熱温度では、加熱温度の上昇と共に減少し、523K で 1 時間の加熱により約 38% 減少した。鑄放し材の内部摩擦値 ( $Q^{-1}1.1 \times 10^{-2}$ ) は 0.3 mass% までの銅添加により影響されないが、0.3 mass% 銅と 0.021 mass% マグネシウム同時添加により約 50% 減少した。0.3 mass% 銅および 0.3 mass% 銅と 0.021 mass% マグネシウム同時添加は熱処理材の組織をさらに微細化させたが、内部摩擦をそれぞれ約 33%、68% 低下させた。

以上のことから、この合金の内部摩擦は結晶粒の形態変化にも大きく依存することを明らかにした。

さらに、0.3 mass% までの銅および 0.3 mass% 銅とマグネシウム同時添加は熱処理材の引張強さと硬度を向上させ、0.3 mass% 銅とマグネシウム同時添加した熱処理材の引張強さと硬度は鑄放し材および熱処理材の中で最も大きくなった。

一方、0.3 mass% までの銅添加は鑄放し材および熱処理材の伸びに影響しないが、0.3 mass% 銅と 0.008 mass% マグネシウム同時添加は熱処理材の伸びを 1% 以下に減少させた。

このように Zn-22mass%Al 合金の内部摩擦値は熱処理により増大したが、引張強さは大きく減少するため、材料としての使用が制限される。したがって、防振材料として機械的性質と共に高い内部摩擦値の両方が要求される場合には銅添加することにより、機械的性質と内部摩擦値のバランスをはかることが必要である。

一方、無添加熱処理材の内部摩擦 ( $Q^{-1}39.1 \times 10^{-3}$ ) は、圧下率の増加と共に増加し、圧下率を 80% にした試料の内部摩擦は熱処理材の値より約 40% 向上した。圧下率を 80% にした圧延材の内部摩擦はアルミニウム量を 22 mass% から 11.5 mass% まで減少しても大きく低下させなかった。また、圧延方向に対して直角に採取した圧延材の内部摩擦は圧延方向の値に比べて約 10 ~ 20% 減少した。

添加元素として銅、アンモチンおよびマグネシウムを各々 0.3 mass%、0.4 mass%、0.02 mass% 添加した熱処理材の内部摩擦は 80% の圧下率によりそれぞれ約 10%、40%、20% 向上した。

内部摩擦に及ぼす圧延加工とアルミニウム量および添加元素の関係から、共析組成の内部摩擦は圧延加工により向上すると共に共析組成以外の合金の内部摩擦値を向上させ、特に亜共析組成において改善が大きかった。Zn-Al 二元系合金の内部摩擦は熱処理材および圧延材においても共析組成で最大値を示し、この内部摩擦値は添加元素により改善することができないことを明らかにした。また内部摩擦の改善には添加元素よりも圧延加工が極めて有効であり、これは結晶粒が幾分分断されて互いに独立した結晶粒に変えられることが一因であることを示した。

第 6 章では、以上に述べた各章をまとめ、本研究を総括した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

高アルミニウム亜鉛合金は casting 用亜鉛合金の中では優れた機械的性質をもつが、さらに高強度な合金の開発や減衰能の改善が課題となっている。

本論文は Al を 11~28mass% 含む高アルミニウム亜鉛合金の高強度化法と防振材料としての材料特性に関する研究をとりまとめたもので、全編 6 章からなる。

第 1 章の緒論では本研究の背景、課題について述べている。

第 2 章では凝固組織中の晶出相と合金組成、冷却速度の関係、及び機械的性質に及ぼす冷却速度、添加元素の影響を調べている。この結果、機械的性質は凝固冷却速度ばかりでなく凝固後の共析変態点付近の冷却速度にも影響されること、リチウム添加は固溶体強化に、銅量の増加は分散強化に寄与することなどを明らかにしている。

第 3 章では合金の機械的性質に及ぼす熱処理、試験温度及び鋼線材による複合強化の影響について述べている。溶体化、焼入れの熱処理により微細な層状組織あるいは粒状組織にすることが強度向上に有効であること、さらに強靱化を図るには恒温変態の熱処理が有効であること、一方、引張強度は 373K で室温の値の  $1/2$  に低下し、これは添加元素や熱処理により改善できないこと、これに対して鋼線材で複合化した亜鉛合金の引張強度は 373K までほとんど低下しないこと、などを明らかにしている。これは実用的に興味ある結果である。

第 4 章ではこの合金の疲れ強さと亀裂伝播特性を詳細に測定し、疲れ強さと亀裂伝播特性が現用のアルミニウム合金に近いことを明らかにしている。亜鉛合金に関するこうしたデータはきわめて貴重である。

第 5 章では高アルミニウム亜鉛合金の減衰能と機械的性質に及ぼす化学組成、熱処理および圧下率の影響について述べている。例えば適切な熱処理で減衰能を向上させ、それにとまなう強度低下を銅添加で補う方法などを提案している。

第 6 章は総括であり、本論文をとりまとめ、又実用化の展望を述べている。

以上要するに、本論文は casting 用高アルミニウム亜鉛合金の特性を casting 条件との関連の下で広範に測定、解析し、特性改善のための基礎的知見を明らかにしたものであって、材料加工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。