

氏 名	齋 藤 壽 雄
	さい とう とし お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 746 号
学位授与の日付	昭 和 50 年 1 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	Al-Zn-Mg 系合金の応力腐食割れに関する研究

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

Al-Zn-Mg 系合金は高アルミニウム合金として最近急速に用途が拡大して、その生産量は着実に増大している。しかしこの系の合金には強度を高くすればするほど応力腐食割れ（以下 SCC と略称する）感受性が敏感になって脆性破壊が起こりやすくなる傾向があり、大きい問題となっている。本研究はこの合金系の SCC に影響をおよぼすと考えられる多数の金属組織学的因子を整理してこれらを系統的に追究して耐 SCC 性の優れた合金の改良・開発に必要な資料を得ることを目的としたもので、9 章からなっている。

第 1 章緒論では工業用 Al-Zn-Mg 系合金の概要を述べ、この合金が抱える問題点を指摘するとともに、SCC に関する従来の研究結果を概説し、本研究の目的とその意義を述べている。

第 2 章では合金の SCC に影響する金属組織学的な基礎的因子、すなわち合金組成および熱処理と SCC 性を評価する試験方法について述べているが、硬化要素である Zn および Mg の含有量の増加につれて合金の耐 SCC 性は低下すること、溶体化処理温度が高くなるにつれて、また焼入冷却速度が大きくなるにつれて SCC は起こりやすくなること、常温時効を行なったものと、120℃ で時効したものとでは前者が全般的に SCC を起こしやすいこと、引張応力を負荷した試験片を 0.3% H₂O₂ を含む 5% の食塩水に浸漬し割れが発生するまでの時間を測定する試験方法は本合金の SCC 感受性を評価するのに適した方法であること、また熱処理した厚肉材をシアー切断し、食塩水に一定時間浸漬後切断面に発生する割れを測定する方法は SCC 性を定量的に測定するには難点はあるが、SCC 感受性の低い合金についての試験方法として適していることなどを明らかにしている。

第 3 章では Zn 4.5%, Mg 1~3% を含む Al-Zn-Mg 合金の SCC 感受性におよぼす室温~180℃ の時効温度および 3~12% の引張加工度の影響について検討している。室温および 60℃ で時効した場合は SCC を起こしやすいこと、120℃ および 150℃ で時効したものでは粒界に析出物の存在しない無析出物帯が認められるがその幅の狭いものほど SCC が起こりやすいこと、Mg 量の 1% の合金は 3% の合金

に比べて時効温度の上昇につれて急激にその SCC 割れ感受性は低くなること、予め 3~12%の引張加工を加えた場合は、その加工度が大きいほど合金の SCC 感受性を高めることなどを見出している。

第4章では、T4, T6 および T7 処理後溶接した実用 Al-4.5% Zn-1.2% Mg 合金のシア一切断割れ試験と 30~120°C で 0.3~30hr 予備時効し、120~210°C で 0.01~70hr 最終時効した Zn 4.5~6%, Mg 1~3%を含む Al-Zn-Mg 合金の SCC 試験を行ない、実用合金の溶接熱影響部には母材が T4, T6, T7 のいずれの処理を受けた場合でもシア割れが発生せず、この部分またはこのような熱履歴をうけた材料の SCC 感受性は低いと考えられること、上記の組成範囲の二段時効処理した合金は一段時効したもの に比べて耐 SCC 性に優れているが、その理由としては二段時効によって強度が高くなることと時効が進んで安定状態にあることが考えられることなどを明らかにしている。

第5章は微量添加元素として Cu, Cr, Ti, Zr をそれぞれ 0.1 原子%単独添加した Al-4.5% Zn-2.9% Mg 合金を 90°C で 3hr、またはさらに 180°C で 1hr 時効処理した後、沸騰クロム酸混液中で SCC 試験を行なうとともにこれら合金の機械的性質と組織について検討を行なったもので、これらの添加元素はいずれも合金の耐 SCC 性を向上させるが、Cu 添加合金と Cr, Ti, Zr 添加合金との間には種々の点で相違があることなどを明らかにしている。

第6章は種々の熱処理を行なった Al-Zn-Mg 合金の引きさき試験の結果と SCC 試験の結果とを比較し、材料の靱性と SCC 感受性との関係を究明し、また SCC 感受性の負荷方向依存性と結晶粒度の影響についても同様の検討を行なったもので、同一条件または類似した条件で熱処理した Zn 4~6%, Mg 1~3%を含む Al-Zn-Mg 合金では割れ伝播エネルギーが小さいものは SCC を起こし易いという対応があるが、熱処理や合金組成の範囲を広げると SCC 感受性と割れ伝播エネルギーとの間に完全な対応関係は成立しないこと、加工繊維組織を有する実用 Al-4.5% Zn-1.2% Mg 合金では、圧延方向に負荷される場合には強度も高く、伸びや割れ伝播エネルギーは大きいこと、さらに SCC は粒界に沿って起こるために方向依存性が顕著に現われることなどを見出している。

第7章は 120°C で 24hr 時効した厚さ 22.4~60 mm の 7075 合金 (Al-Zn-Mg 系に Cu を添加した合金) 板より種々の方向に C 字形リング状試験片を採取して、沸騰クロム酸混液中で SCC 試験を行なうとともに、120°C で 24hr 時効した厚さ 1~60 mm の 7075 合金板より板面に平行に短冊試験片を切りだして U 字形曲げにより応力を負荷して SCC 試験を行ない、本系合金の SCC 感受性の異方性、その異方性におよぼす塑性加工度、粒界組織の影響などについて検討したもので、C 字形リング状試験片による SCC 試験から SCC 感受性におよぼす応力の影響は、粒界に垂直に作用する引張応力成分で左右されること、また厚板の肉厚方向の負荷による SCC 試験では加工度が大きく繊維組織が発達するほどその感受性は低くなること、短冊試験片による U 字形曲げ試験では再結晶によって等軸結晶粒組織になると割れ易くなることなどを明らかにし、これらの結果は粒界組織が SCC に対して極めて重要な因子であることを明らかにしている。

第8章では Al-Zn-Mg 合金の腐食について検討するため、7075 合金と実用 Al-4.2% Zn-1.4% Mg 合金の板に種々の熱処理を施した後剥離腐食試験を行ない、7075 合金では熱入冷却速度が遅い油冷のものに剥離腐食が生じ、また等温時効で強度の高い状態にあるものほど剥離腐食が生じやすいことを見出し、

7075合金では剥離腐食は粒界腐食によることを確かめているが、一方 Al-Zn-Mg 合金では溶体化処理温度の低いものに剥離腐食が発生すること、時効状態との関連では、熱入直後のものに発生しやすく、時効の進行につれて起こりにくくなること、微量元素を単独添加した合金の試験結果から、Al-Zn-Mg 合金の剥離腐食は圧延されて層状に存在する微量元素が関与する化合物によって強く影響されることなどを明らかにしている。

第9章は本論文の総括である。

論文審査の結果の要旨

Al-Zn-Mg 合金は高アルミニウム合金として最近特に注目されているが、この系の合金は強度を増大させるとそれだけ応力腐食割れ（以下 SCC と略称）感受性が増大するので工業的にもその解明が強く望まれている。この論文は本系合金の SCC を解明するために金属組織学的因子を整理して、それらを系統的に研究したもので、その主な成果は次のように要約される。

(1) Al-Zn-Mg 系合金の耐 SCC 性は Zn と Mg 量が増大するほど、溶体化処理温度が高いほど、熱入冷却速度が速いほど低下し、また低温時効は高温時効より悪い結果を与える一般的傾向があることを見出し、それらの理由を金属組織学的に説明した。

(2) Zn 4.5%, Mg 1~3%を含む合金の耐 SCC 性は 120°C 以上の高温で時効し、かつ粒界に生じる無析出物帯の幅が広くなるような熱処理によって改善されること、Mg 量の低い合金は高い場合に比較して時効温度の上昇とともに急激に耐 SCC 性がよくなること、引張加工は SCC 感受性を高めることなどを見出した。

(3) 本三元合金は溶接構造用に用いられることが多いが、T4, T6 および T7 処理した Zn 4.5%-Mg 1.2%合金の溶接熱影響部の SCC 感受性は低いこと、また二段時効した場合は一段時効の場合に比較して耐 SCC 性がよいこととそれらの理由を示した。

(4) 微量元素として Cu と Cr, Ti, Zr の添加は何れも耐 SCC 性の向上によい効果を与えるが、Cu とその他の三元素を添加した合金とでは著しい相違があることを明らかにした。

(5) Zn 4~6%, Mg-1~3%を含む合金に種々の熱処理を施した場合、引き試験で求めた割れ伝播エネルギーと SCC 感受性との間には、ほぼ同一条件で熱処理した場合には割れ伝播エネルギーの小さいものは SCC 感受性が高いという対応性があり、また加工繊維組織がよく発達した場合には割れ伝播エネルギーが大きく、耐 SCC 性も優れていることを見出した。

(6) Al-Zn-Mg 系に Cu が添加された7075合金厚板の圧延方向、これと直角方向および肉厚方向の試料採取方向による SCC 感受性の相違とこの異方性におよぼす塑性加工度およびそれに関連する結晶粒組織の影響に関して、C 字形リング状および短冊 U 字形試験片を用いて SCC 試験を行ない、厚板の肉厚方向の寿命は極端に短いこと、塑性加工によって等軸晶組織から繊維組織が発達するにつれて向上すること、また繊維組織をもつ材料の耐 SCC 性は繊維方向の粒界に垂直に作用する引張応力成分によって決定されることなどを示し、結晶粒組織の重要性を実証した。

(7) 本系合金には剥離腐食現象があることを示し、Cu を含む7075合金では焼入冷却速度が遅い場合に、

また時効温度の高い場合に生じ易く、その原因は粒界腐食と考えられるが、一方 Cu を含まない三元合金では溶体化処理温度の低い場合に発生し易く、塑性加工によって層状に分散した化合物相に起因することを明らかにし、Cu の存在によってその原因が全く異なることを示した。

これを要するにこの論文は Al-Zn-Mg 系合金の SCC に影響を及ぼす多数の金属組織学的因子を系統的に詳細に解明し、耐 SCC 性向上に対する指針をしめすとともに、本系合金の改良・開発に有用な基礎的ならびに工業的知見を与えたもので、学術上實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。