

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：84431

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15320

研究課題名（和文）アルミニウム合金の時効処理による強度と剛性の同時強化

研究課題名（英文）Simultaneous improvement of strength and stiffness by aging treatment of aluminum alloys

研究代表者

岩岡 秀明（Iwaoka, Hideaki）

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・研究員

研究者番号：90751496

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではAl-2Li-0.2Sc(mass%)合金に二段時効を行い、微細な析出物を高体積率で析出させることで、強度と剛性の同時強化を図った。一段目の623 Kでの時効でAl₃Scの析出物を高密度に析出させ、二段目の423Kでの時効でこのAl₃Scを核として、それを包むようにAl₃Liを析出させることで、core/shell構造を持つ析出物による合金の硬さとヤング率の同時強化を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Al合金の時効処理による硬さの変化については多くの知見があり、工業的にも積極的に利用されている一方、ヤング率の変化についてはこれまで十分に調査されてきたとは言いがたい。本研究では、Al合金のヤング率のLi固溶による増加とAl₃Li形成による増加をそれぞれ評価することで、Al₃Li形成によるヤング率向上への寄与が比較的大きいことを示した。今後、より効果的な析出条件を明らかにすることで高強度かつ高剛性を持つAl合金を設計できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we applied the two-step aging treatment to Al-Li-Sc alloys to form fine precipitates with high volume fraction for simultaneous improvement in hardness and stiffness of the alloys. In first step, the Al₃Sc precipitates were formed by aging treatment at 623 K. In second step, the Al₃Li precipitates were formed surrounding the Al₃Sc precipitates by aging treatment at 423 K, and these precipitates having core/shell structure improved hardness and Young's modulus of the alloys simultaneously.

研究分野：金属組織学

キーワード：アルミニウム 硬さ ヤング率 時効処理

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車の車体の軽量化の需要の高まりに応じて、車体パーツへのアルミニウム(Al)合金の採用が進められている。Alは軽量かつ比強度が高い一方で、鉄に比べて剛性が低く、適用できるパーツに制限があることが課題として挙げられる。これまでの研究でAl-Cu-Zn三元合金に対して時効処理を行い、析出物を分散させることでAl合金の剛性を向上させることに成功した。しかし、析出物の体積率を増加させるために時効処理を高温で、長時間行うと析出物のサイズは粗大化して強度の向上に寄与しない上、固溶強化に働いていた溶質原子が析出物の形成・成長に使われるため、強度は大きく減少した。したがって、強度も同時に向上させるためには析出物を高密度に析出させることで、サイズが微細でも高い体積率を得られるようにすることが重要である。Al-Li-Sc合金は623~673 Kの比較的高めの温度で一段目の時効をした後、423~473 Kで二段目の時効を行うと、一段目で析出した Al_3Sc を核として、それを包むように Al_3Li が析出することでCore-Shell構造が形成される。そのため、一段目の時効で高密度に Al_3Sc を形成させることで、二段目の時効においてサイズが微細なまま、高い体積率で析出物を形成させることが可能であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究ではLiとScを添加したAl合金に対して二段時効を行い、時効処理中の合金のヤング率と硬さの変化を測定するとともに、時効中に形成した析出物がヤング率と硬さの変化に及ぼす影響について調査する。

3. 研究の方法

試料はAl-2 mass% Li-0.2 mass% Sc合金を用い、Ar雰囲気中で873 K-7.2 ksの溶体化処理後、ソルトバス中で623 K-1.8 ks(一段目)とオイルバス中で423 K(二段目)の二段時効を行った(以降、一段目の時効のみを行ったものは623 K-1.8 ks材、二段目の時効を行ったものは時効時間 X を用いて、423 K-X (Two)材と称す)。また、溶体化処理後そのままオイルバス中で423 Kの一段時効のみを行ったものを比較材とした(以降、423 K-X (One)材と称す)。

機械的特性の調査としては硬さとヤング率の測定を行った。時効処理中は析出物の形成に伴い、固溶原子の減少が起こる。特にLi原子はAl中に固溶することでヤング率を向上させることが報告されており、時効中のヤング率の変化はこのLiの固溶量の変化からも影響を受けると考えられる。そこで時効前の試料がLiの固溶によってどのくらいヤング率が向上しているのかを確認するため、溶体化処理したAl-2 mass% Liと焼鈍した99.99%Alのヤング率について、ナノインデントーションを用いて測定した。ただし、ヤング率の方位依存性により、方位分布の異なる試料のヤング率を単純に比較すると公平に比較できない可能性があるため、後方散乱電子回折(EBSD)測定であらかじめ探していた同じ低指数の面方位を持つ結晶粒で測定を行った。一方、時効中のヤング率の変化を調査するため、非破壊かつ試料調整が容易な自由共振法を用いた。同じ試料に対して測定と熱処理を繰り返し行えるため、同じ方位分布で時効処理によるヤング率の変化を調査することが可能となる。

また、時効中に形成された析出物を調査するため、透過型電子顕微鏡(TEM)による観察を行った。

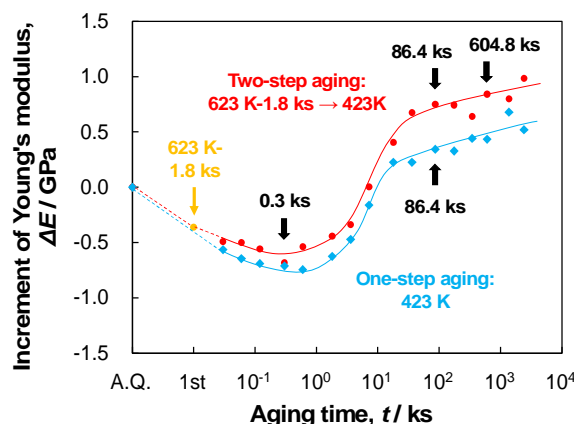


Fig.1 Changes in increment of Young's modulus of Al-2 mass% Li-0.2 mass% Sc alloy during two-step and one-step aging.

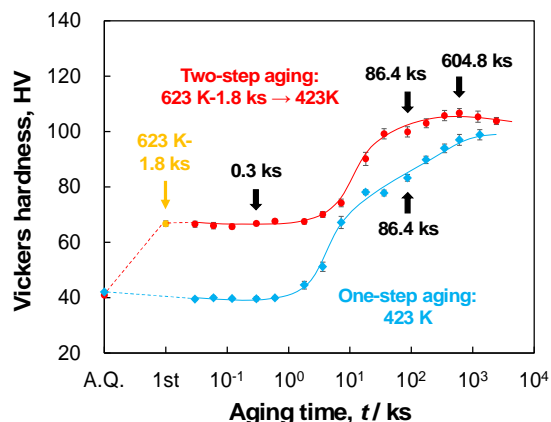


Fig.2 Changes in Vickers hardness of Al-2 mass% Li-0.2 mass% Sc alloy during two-step and one-step aging.

4. 研究成果

溶体化処理した Al-2 mass% Li 合金と焼鈍した 99.99% Al の(001)(101)(111)付近の面方位を持つ結晶粒に対し、ナノインデントーション測定を行った。得られた荷重-変位曲線をもとにランダム配向した多結晶材のヤング率を評価したところ、Al-2Li 合金は 83.1 GPa、99.99% Al は 69.1 GPa となり、Li の固溶により、ヤング率は大幅に向上することが分かった。

Fig. 1 と Fig. 2 は Al-2 mass% Li-0.2 mass% Sc 合金の二段時効材と一段時効材に 423 K で時効を行った時のヤング率の増加量および硬さの変化をそれぞれ表している。両者のヤング率は時効初期には減少したものの、その後は時効時間の経過とともに増加しており、その増加量は二段時効材の方が大きくなった。また、溶体化後の硬さは 40 HV 程度であったが、86.4 ks 時効を行うことによって二段時効では 100 HV、一段時効では 83 HV まで増加した。

423 K での時効中における二段時効材の組織の変化を調査するため、(a) 623 K-1.8 ks 材、(b) 423 K-0.3 ks (Two)材、(c) 423 K-86.4 ks (Two)材、(d) 423 K-604.8 ks (Two)材の TEM 観察を行った結果を Fig. 3 に示す。623 K-1.8 ks 材 (Fig. 3(a)) では数 nm 程度の析出物が高密度に形成しているのが確認でき、そのサイズは 423 K-0.3 ks (Two)材 (Fig. 3(b)) でも変化しなかった。しかし、423 K-86.4 ks (Two)材 (Fig. 3(c)) では、析出物は数十 nm 程度の大きさになり、内部に暗いコントラストを持つ Core-Shell 構造が形成されていた。423 K-604.8 ks (Two)材 (Fig. 3(d)) では、それらの析出物が成長している様子が確認された。Al-Li-Sc 合金の析出相である Al_3Sc と Al_3Li はともに $L1_2$ 構造であるため、回折パターンから同定を行うことは難しいが、過去の報告から Fig. 3(a) で見られる微細な析出物は Al_3Sc であり、それを核として Al_3Li が析出することで Fig. 3(c)(d) で見られる Core-Shell 構造を形成したと考えられる。

623 K-1.8 ks 材や 423 K-0.3 ks (Two)材ではヤング率の低下が見られたが、これは析出物と母相の界面に生じた整合ひずみによるものと考えられる。材料の弾性定数は格子ひずみによって影響を受けることが報告されており、これらの試料中では剛性の高い析出物の形成による複合則的な強化よりも、整合ひずみによるヤング率の低下が上回ったものと推察される。一方、時効処理の進行とともに析出物のサイズが増加することで、界面の影響の減少や体積率の増加が起こり、423 K-86.4 ks (Two)材や 423 K-604.8 ks (Two)材でヤング率が向上したと考えられる。

一方、Fig. 3 (e)に示した 423 K-86.4 ks (One)材の TEM 写真からは二段時効材で観察されたような Core-Shell 構造の析出物は確認されず、そのサイズも比較的小さかった。このことから、二段時効材では先に析出した Al_3Sc によって Al_3Li の核生成・成長が促進されることで、 Al_3Li の体積率が大きくなった分、一段時効材と比べてヤング率や硬さが高くなったと考えられる。

また、今回時効処理によりヤング率は増加を示したが、その増加量は 1 GPa 未満と比較的小さい値となった。しかし、この値は固溶による増加量の減少分が相殺された値であるため、Li 原子の固溶によるヤング率の増加量が大きいことを考慮すると、この合金系において析出物形成によるヤング率向上への寄与はかなり大きいことが明らかとなった。

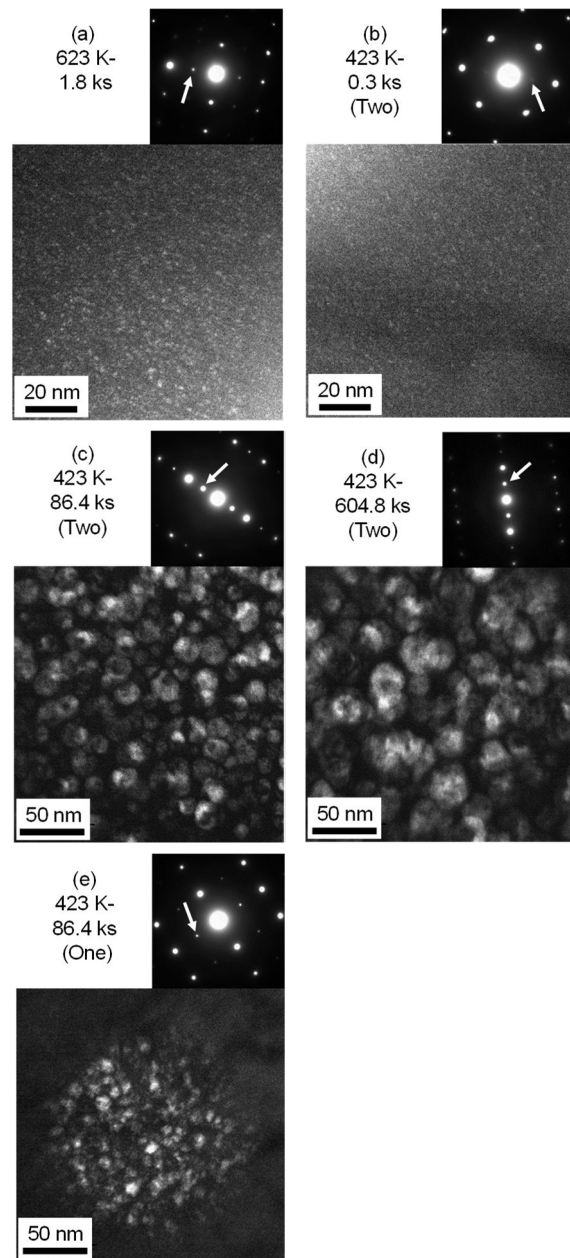


Fig.3 TEM microstructures of Al-2 mass% Li-0.2 mass% Sc alloys of (a) 623 K-1.8 ks, (b) 423 K-0.3 ks (Two), (c) 423 K-86.4 ks (Two), (d) 423 K-604.8 ks (Two), (e) 423 K-86.4 ks (One).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ryota Kasama, Hideaki Iwaoka, Yuto Umeda, Tang Yongpeng, Shoichi Hirose, Hiroyuki Watanabe, Masashi Fujita	4. 巻 14
2. 論文標題 Considerable improvement in elastic moduli and the underlying mechanism of Al-Cu-Zn alloy subjected to aging treatments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materialia	6. 最初と最後の頁 100911
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mtla.2020.100911	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hideaki Iwaoka, Ryota Kasama, Yuto Umeda, Yongpeng Tang, and Shoichi Hirose
2. 発表標題 Improvement in stiffness of Al-Zn-Cu alloy by dispersion of precipitates formed during aging treatment
3. 学会等名 The 17th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA17) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toyoshima Takaakira
2. 発表標題 Concurrent improvement in strength and stiffness of Al-Cu-Ag alloys by aging treatments
3. 学会等名 The 17th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA17) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊島高彬、岩岡秀明、廣澤渉一
2. 発表標題 時効処理により強度・剛性を同時改善したAl-Cu-Ag合金の析出挙動
3. 学会等名 軽金属学会第137回秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊島高彬、岩岡秀明、廣澤渉一
2. 発表標題 Al-Cu-Ag合金の時効処理による強度・剛性の同時改善のメカニズムの解明
3. 学会等名 軽金属学会関東支部2019年度若手研究者講演発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩岡秀明、豊島高彬、廣澤渉一
2. 発表標題 Al-Li-Sc合金の強度と剛性に及ぼす時効処理の影響
3. 学会等名 軽金属学会第142回春期大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関