

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25630305

研究課題名(和文)液体金属の粒界浸透処理によるアルミニウム合金の粒界脆性破壊の抑制

研究課題名(英文)Suppression of the brittle grain boundary fracture of aluminum alloys by means of soaking in a liquid metal bath

研究代表者

堀川 敬太郎(Horikawa, Keitaro)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：50314836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：Al-Mg系合金は高温でNaの粒界偏析によって粒界脆化現象を生じる。この脆化を抑制するための手法として、Naと親和力の高い元素の添加が有効であることが報告されている。本研究では、これまで実施されなかった添加元素の方法として、液体金属浴にAl-Mg合金を一定時間浸漬する、という方法で、高温脆化の抑制の可能性を調査した。その結果、液体Biへの浸漬によって、高温脆化が抑制されることが明らかになった。また液体Inへの浸漬処理では、浸漬させる温度によってその効果が異なることも見いだされた。

研究成果の概要(英文)：Al-Mg base alloys show grain boundary embrittlement at high temperatures caused by the segregation of sodium at grain boundaries. To suppress the embrittlement, it has been reported that the additional elements such as bismuth or antimony with high affinity with sodium are effective. In the present study, a novel method to add the elements was proposed by means of soaking in liquid metal baths to improve the hot ductility of Al-Mg base alloys. As a result, it was revealed that the soaking in liquid bismuth could suppress the high temperature embrittlement. On the other hand in the soaking in liquid indium bath, it was shown that the effects were variable according to the temperature of soaking.

研究分野：材料工学

科研費の分科・細目：構造・機能材料

キーワード：液体金属 粒界 破壊 偏析 無害化 アルミニウム合金

1. 研究開始当初の背景

アルミニウム合金に対して Ga や Hg などの低融点元素を液体で接触させると「液体金属脆性, LME」を生じることが知られており、1970 年代よりその影響が調査されてきた。Shunk らの報告によると LME を生じさせるアルミニウムと低融点元素の組み合わせでは、Ga や Hg 以外にも In, Sn, Zn 等も粒界脆化を生じさせるとされている。しかしながら、申請者が、アルミニウムの LME に関する 1970 年代から現在までの文献をすべて調査したところ、Ga や Hg によるアルミニウムの LME に関するものが 100%であり、In, Sn, Zn によって生じるアルミニウムの LME の文献はその後皆無であることが判った。つまり、In 等の元素に起因するアルミニウムの LME については、その後、他の研究者によって再現できていないのではないかと類推された。そこで昨年度に予備実験として Al-5%Mg 合金に対して液体の In を接触させた状態で高温引張特性を実施したところ、LME は観察されることが確認された。一方、Al-5%Mg 合金は合金中に含まれる微量不純物 Na の粒界偏析で高温粒界破壊(高温脆化)を生じる現象がある。二元平衡状態図によると Na は In との間で安定化合物 (Na_5In_8 , NaIn) を形成することが示されており、In の添加によって高温脆化の抑制が可能ではないかと考えられた。そこで、Na で粒界脆化を生じる Al-5%Mg 合金に対する合金表面からの液体 In の粒界浸透処理の影響について調査した。その結果、期待されるように、液体 In の接触処理で粒界 Na 偏析に起因する Al-5%Mg 合金の高温脆化を抑制できることが明らかになった。すべてのアルミニウムは電解精錬の過程で不純物として混入する Na の影響を少なからず受けているが、このような液体金属の粒界浸透処理を他の実用合金に対しても適用することで、アルミニウム合金全体の粒界破壊を克服できる可能性がある。

2. 研究の目的

アルミニウム合金の更なる高強度・高靱性化の為に粒界破壊の抑制が必須である。その目的達成のための、従来型の材料学的なアプローチとしては、合金組成や熱処理の最適化による粒内・粒界析出相、結晶粒の組織制御が一般的である。しかしながら、アルミニウム合金では成分元素以外の極微量不純物元素の粒界偏析によっても粒界破壊が生じる

場合がある。微量不純物に起因する粒界破壊抑制のためには、粒界に限定して有害不純物と結びつきやすい元素の添加が有効である。本研究では、粒界破壊を生じさせる粒界不純物元素の作用を無害化する新たな方法として、「粒界偏析元素と相互作用する液体金属の粒界浸透処理」を提案する。この手法を用いて、粒界偏析によって生じるアルミニウム合金の粒界破壊を完全に抑制することを目的とする。

3. 研究の方法

Al-Mg 系アルミニウム合金の LME の再評価のために、Na 不純物を 7ppm に調整した 5083 アルミニウム合金を溶解鑄造する。その鑄塊を大気中で 430 -18h の均質化処理を行う。その合金に対して LME の可能性が指摘されている金属元素を液体とした浴槽 (Bi, In) に一定時間(0.5h)保持する浸漬処理を行った。その後、大気中で高温引張試験 (300) を実施することで、LME の有無、程度を判定する。液体金属浸漬の影響に及ぼす加工熱処理の影響についても検討する。

4. 研究成果

大気鑄造後、均質化処理 (430 -18h) を行った後の 5083 合金の 300 における引張試験結果を図 1 に示す。液体 Bi 浴に一定時間浸漬することによって、高温延性が大幅に増加することが認められた。また、破断面の観察から、液体 Bi 浸漬によって、粒界破壊が部分的に抑制されていることがわかった(図 2)。このことから、試験片の表面から拡散した Bi が粒界破壊の抑制に作用したと考えることができる。

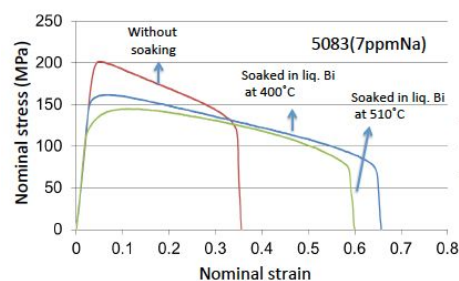


図 1 5083 アルミニウム合金の高温延性に及ぼす液体 Bi 浸漬の影響 (T=300 °C)

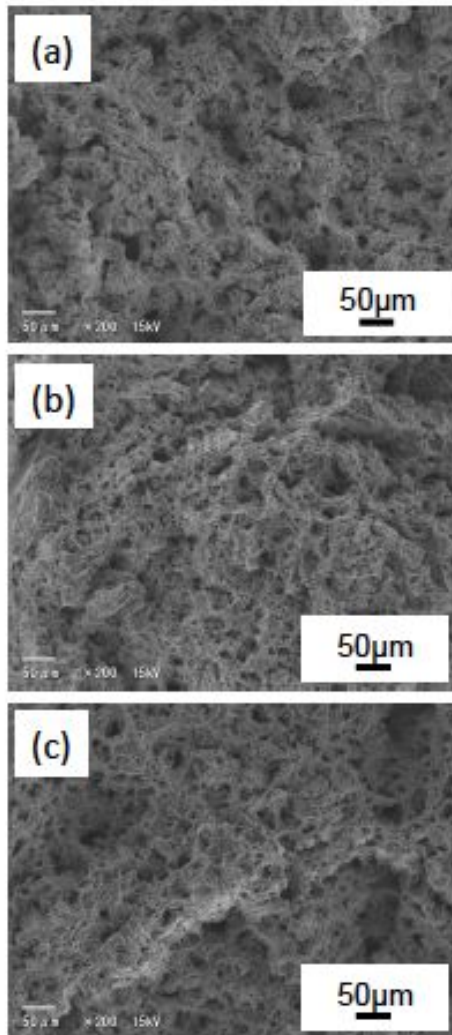


図 2 5083 合金の高温引張試験後 (300) の破面、(a): 浸漬なし、(b):Bi 浸漬 (400 , 0.5h) , (c): Bi 浸漬(510 , 0.5h)

同様の実験を液体 In に浸漬することで行った結果を図 3 に示す。液体 In への浸漬では、浸漬温度を 400 とした場合と 510 とした場合で、影響に違いが見られた。400 の In 浴への浸漬では、高温延性に正の効果が見られたが、510 での浸漬では LME 特有の顕著な粒界脆性破壊を生じた(図 4)。この結果より、粒界への液体金属の浸漬の程度(量)によって高温延性への影響が異なることを示している。この実験の範囲内では実験的に示すことはできなかったが、液体金属が粒界での Na 偏析を効果的に捕捉できる条件が存在することを示唆している。

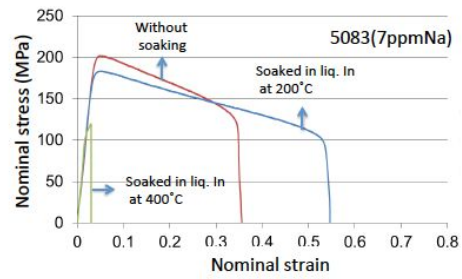


図3 5083 アルミニウム合金の高温延性に及ぼす液体 In 浸漬の影響 (T=300°C)

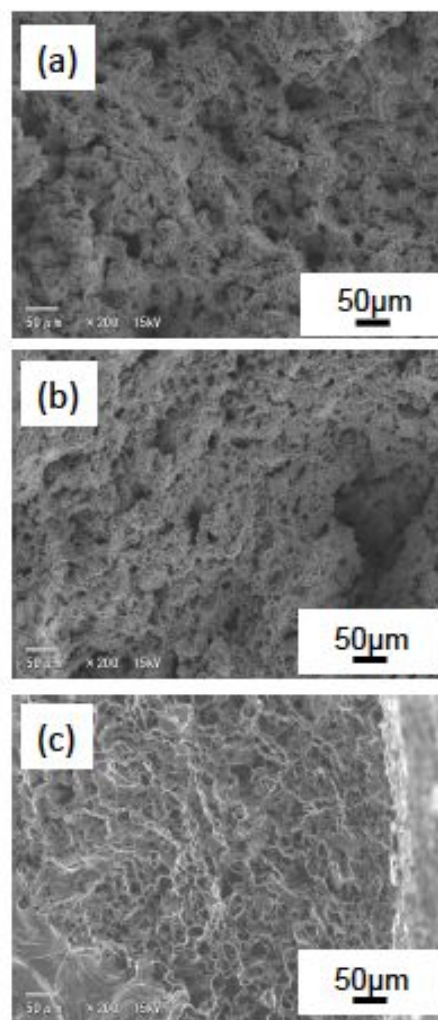


図 4 5083 合金の高温引張試験後 (300) の破面、(a): 浸漬なし、(b):In 浸漬 (200 , 0.5h) , (c): In 浸漬(510 , 0.5h)

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

菅仁志, 堀川敬太郎, 谷垣健一, 小林秀敏 :
Al-5%Mg合金の高温延性に及ぼす液体 Sn 接触の影響, 第 124 回軽金属学会春期大会, 富山大学, 平成 25 年 5 月 18 日

甲能涉, 堀川敬太郎, 谷垣健一, 小林秀敏 :
5083 アルミニウム合金の高温延性に及ぼす液体 Bi 接触の影響, 第 125 回軽金属学会秋期大会, 横浜国立大学, 平成 25 年 11 月 9 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況(計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

<http://fracmech.me.es.osaka-u.ac.jp/days/staff/horikawa.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

堀川 敬太郎 (HORIKAWA KEITARO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号 : 50314836

(2)研究分担者

小林 秀敏 (KOBAYASHI HIDETOSHI)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号 : 10205479