

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2015

課題番号：15K14164

研究課題名(和文) 表面からの原子拡散を利用した傾斜機能型アルミニウム合金の合成

研究課題名(英文) Production of gradient functional aluminum alloys by means of liquid metal diffusion from the surface

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：純アルミニウムおよびAl-Mg合金に対して、液体金属のBiやIn中で熱処理を行って、傾斜機能性を持つ新しい材料を作製した。液体Bi中で熱処理を行うことによって、表面の粒界から液体Biが優先的に拡散することによって、高温での変形特性に影響を与えることが見出された。液体Biの浸漬によって変形応力が低下し、延性が向上することが明らかになった。力学特性に対する液体Bi浸漬の影響としては、純アルミニウムに比べてAl-Mg合金の方が顕著となることを見出された。

研究成果の概要(英文)：Gradient functional aluminum and Al-Mg alloys were newly produced by means of the heat treatment in the liquid bismuth or indium. The deformation performance at high temperature were affected by the heat treatment caused by the grain boundary diffusion of bismuth atoms. In the high temperature testing, flow stress was decreased, and the ductility were increased. The effect on the deformation is more prominent in the case of Al-Mg alloys, rather than that of pure aluminum.

研究分野：金属材料学

キーワード：液体金属 傾斜機能材料

## 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が Bi などについては脆化元素に分類されていない。昨年度までに予備実験として 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 は観察されないことが確認された。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 ( $\text{Na}_5\text{In}_8$ ,  $\text{NaIn}$ ) 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。また表面からの液体金属の浸漬をコントロールすることで、表面と内部で溶質濃度を変えた材料を開発できると期待される。

## 2. 研究の目的

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、バルクの金属材料に対して、表面と内部で特性を変えた新たな傾斜機能材料を創成するため

の新たな方法として、「液体金属の粒界浸透処理」を提案する。この手法を用いて、表面と内部で異なる溶質組成を持つアルミニウム合金を作製することを目的とする。

## 3. 研究の方法

純アルミニウムおよび Al-Mg 系アルミニウム合金鑄塊を大気中で 430 °C -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 °C) 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 °C -18h) を行った後の 5083 合金の 300 °C 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。

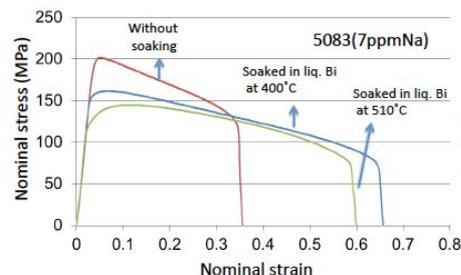


図 1 5083 アルミニウム合金の高温延性に及ぼす液体 Bi 浸漬の影響 (T=300 °C)

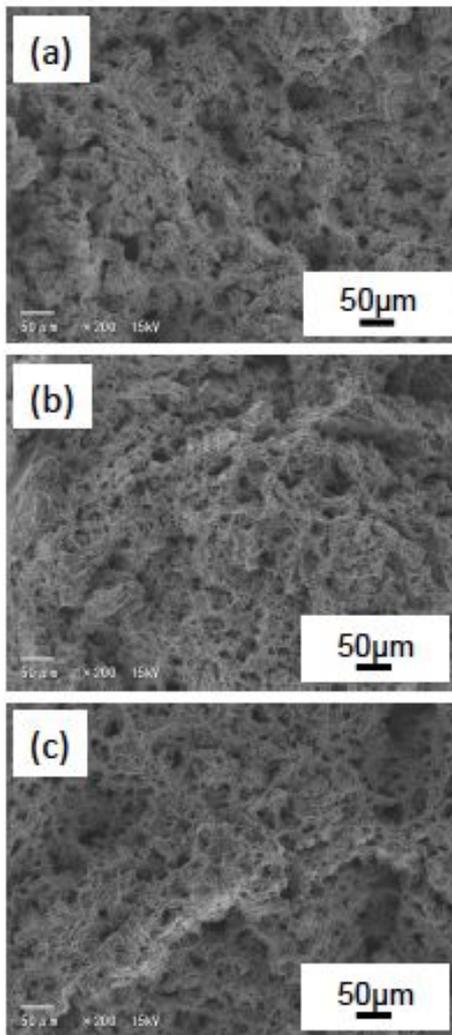


図 2 5083 合金の高温引張試験後 (300 )の破面、(a): 浸漬なし、(b):Bi 浸漬 (400 , 0.5h) , (c): Bi 浸漬(510 , 0.5h)

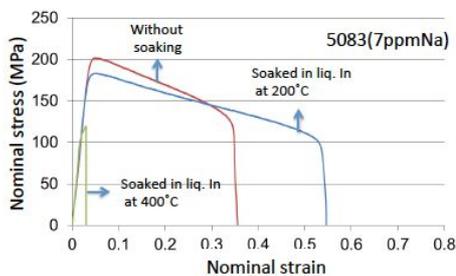


図3 5083アルミニウム合金の高温延性に及ぼす液体 In 浸漬の影響 (T=300°C)

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。

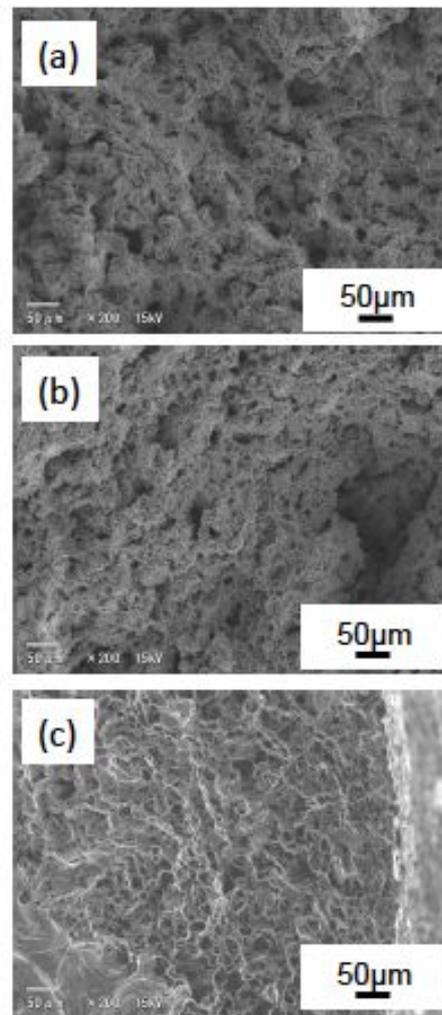


図 4 5083 合金の高温引張試験後 (300 )の破面、(a): 浸漬なし、(b):In 浸漬 (200 , 0.5h) , (c): In 浸漬(510 , 0.5h)

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)

北畑真太郎、堀川敬太郎、谷垣健一、小林秀敏：液体 Bi 浸漬による Al-Mg 合金の表面硬化特性，第 129 回軽金属学会秋期大会，千葉，平成 27 年 11 月 21 日

北畑真太郎、堀川敬太郎、谷垣健一、小林秀敏：純アルミニウムの引張特性に及ぼす液体 Bi 浸漬の影響，第 130 回軽金属学会秋期大会，大阪，平成 28 年 5 月 28 日日

〔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