

## 熱間鍛造した Mg-Al-Zn 系合金を高硬度化する時効処理の基礎的検討

Fundamental Study on Aging Treatment to enhance the Hardness of Hot-Forged Mg-Al-Zn Alloy

塚根亮

Ryo Tsukane

機械素材研究所 無機材料担当

Mg-Al-Zn系合金であるAZ61の熱間鍛造品を高硬度化するための基礎的検討として、時効硬化挙動と硬化挙動に及ぼす処理温度および時間の影響を評価した。時効処理温度は140℃および180℃に設定し、各24、48、96、168、264時間の時効処理を施した。時効処理温度および処理時間により硬度は異なり、140℃、264時間の時効処理で最も硬度が高くなった。時効処理により熱間鍛造品を高硬度化できることが明らかとなった。

## 1. はじめに

マグネシウム合金は構造用金属材料として最軽量であり自動車など輸送機器への適用が期待されているが、現状ではアルミニウム合金に比べるとその普及は進んでいない。その要因の一つに硬度不足があげられる。金属材料は鍛造により加工硬化することが知られているが、マグネシウム合金は塑性加工性が悪く、熱間鍛造しかできないため冷間鍛造ほど加工硬化しない<sup>1)</sup>。マグネシウムにアルミニウム、亜鉛を添加したマグネシウム合金 (AZ 系) は溶体化処理と呼ばれる高温での熱処理により母相のマグネシウム中に添加元素を過飽和に固溶させた後、室温~300℃で保持することで第2相 ( $Mg_{17}Al_{12}$ ) が析出して強度が向上する時効硬化という現象が起こる<sup>2),3)</sup>。図1に時効析出の模式図を示す。

時効処理温度により析出物は大きさと分布が異なり、それに伴い硬化挙動も異なる。また、析出物は時間とともに増加し硬化するが、やがて析出物が大きくなりすぎて硬度が低下する過時効という現象が生じる。

本研究では熱間鍛造を行った AZ61 マグネシウム合金を高硬度化するための基礎的検討として時効硬化挙動と硬化挙動に及ぼす時効処理温度、時間の影響を調べた。

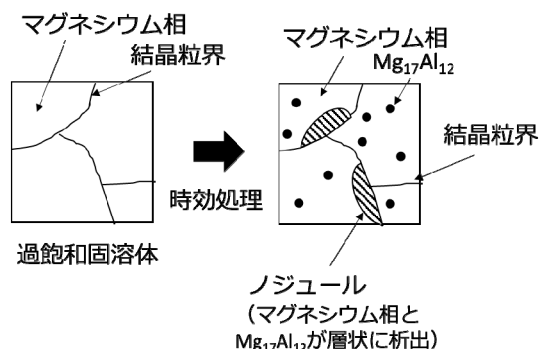


図1 時効析出の模式図

## 2. 実験方法

## 2.1 試験片

表1に示す合金組成を有する直径100mmの円柱状AZ61押出材に約350℃の熱間鍛造を行い、図2(a)に示すカップ状に成形した。カップ形状にした熱間鍛造品の底面部(図2(b))からワイヤーカット放電加工機により試験片を切り出した。

表1 AZ61の化学成分

(mass%)							
Mg	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe
Balance	6.1	0.83	0.32	0.015	0.0016	0.0005	0.0018

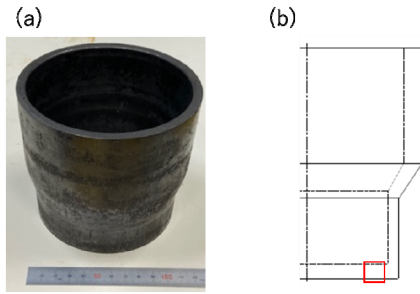


図2 (a)鍛造品と(b)試験片採取位置(口部)

## 2.2 熱処理

試験片は電気炉で413°C、48時間保持した後、水冷し溶体化処理を行った。その後、オイルバスで時効処理温度は140°Cおよび180°Cにて各24、48、96、168、264時間の時効処理を施した。

## 2.3 硬さ試験

硬さはビッカース硬さ試験機(株ミットヨ製HM-220D)を使用した。頂角136°の正四角錐ダイヤモンド圧子を荷重0.1Nで10秒間押し付けた。

## 2.4 組織観察

組織観察は5%ナイトール液を用いて腐食を行った後、マイクロSCOPE(株ハイロックス製KH-8700)で観察した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 鍛造品の組織

熱間鍛造前の押出材と熱間鍛造のまま材の組織写真を図3に示す。平均粒径を切片法<sup>4)</sup>により測定すると押出材17 $\mu\text{m}$ 、熱間鍛造のまま材は20 $\mu\text{m}$ とほぼ同等であった。押出材、熱間鍛造のまま材ともマグネシウム相と第2相( $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ )が層状に配列したノジュール状の析出物が確認された。

### 3.2 時効硬化挙動

各温度で時効処理したAZ61熱間鍛造品の硬さと時間の関係を図4に示す。また、押出材の硬さは64HV、熱間鍛造のまま材は64HV、熱間鍛造後に溶体化処理を行った硬さは63HVであった。

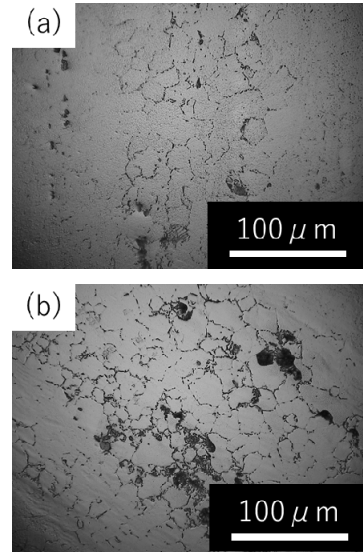


図3 (a)押出材、(b)熱間鍛造のまま材の組織

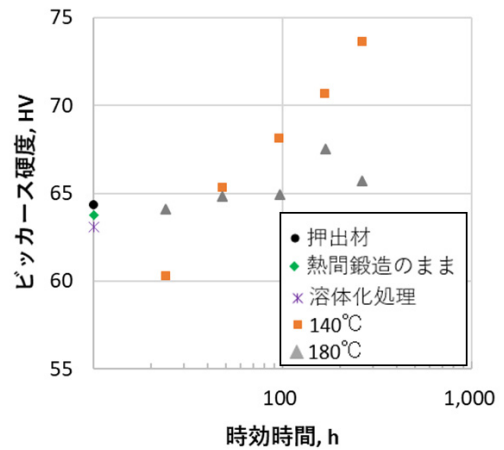


図4 鍛造品の硬さと時効時間の関係

時効処理温度140°Cの条件では、時効初期の24時間では60HVと硬化しなかったが、その後時間が経つにつれ硬化していき、264時間で74HVとなり熱間鍛造のまま材と比較し硬度が16%上昇した。

一方、時効処理温度180°Cの条件では、時効初期に硬度の低下は見られず、ほぼ一定の硬度を保ったまま168時間でピーク硬度68HVとなり熱間鍛造のまま材と比較し6%上昇した。その後264時間では66HVに低下した。264時間では過時効軟化が生じていた。

代表的な組織として、時効処理温度140°Cの条件での24、96、264時間処理の写真を図5に示す。時効時間24時間では結晶粒が、明瞭に識別でき、析出物は観察されなかった。96時間ではノジュール状の

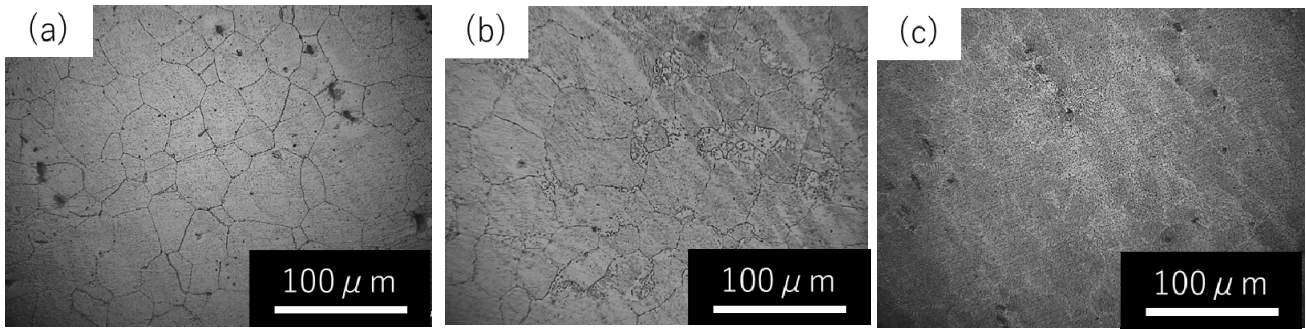


図5 時効処理温度 140°C条件の組織 (a)24 時間、(b)96 時間、(c)264 時間

析出物が観察されるようになった。264 時間では結晶粒内にも析出物が観察されるようになり結晶粒が識別できなくなった。析出物の増加とともに硬度が上昇したと考えられる。

それぞれの温度で最高硬度となった時効条件（温度 140°C・264 時間）と時効条件（温度 180°C・168 時間）の組織写真を図 6 に示す。時効条件（温度 140°C・264 時間）では粒内に微細な析出物が多くみられるが、時効条件（温度 180°C・168 時間）ではノジュール状の析出物が多く見られる。時効温度が異なると析出の仕方が異なり、それにより硬化挙動も異なると考えられる。

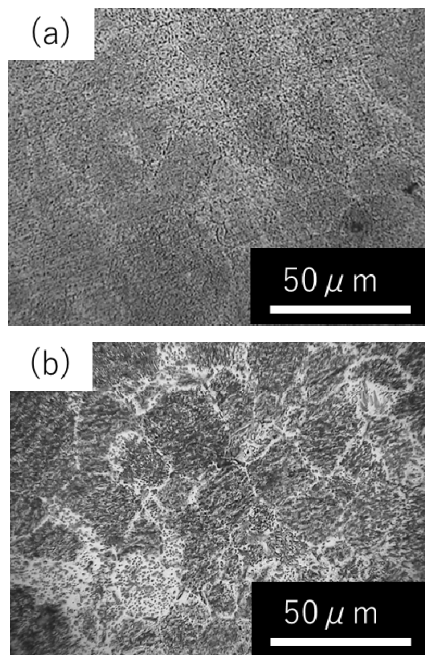


図6 (a)140°C時効 264 時間、(b)180°C時効 168 時間の組織

## 4. おわりに

本研究ではマグネシウム合金 AZ61 熱間鍛造品の時効硬化挙動と時効温度の影響を調べた。

その結果、140°C時効処理では時効時間の増加とともに硬度は上昇した一方、180°C時効処理では時効時間が増加しても硬度はほぼ一定で 168 時間でピーク硬度となり 264 時間で硬度が低下した。時効温度が異なると析出の仕方が異なり、それにより硬化挙動も異なることが推察された。

本研究で得られた知見はマグネシウム熱間鍛造品の高硬度化に活用されることが期待される。

## 謝 辞

マグネシウム材料の提供、熱間鍛造についてご協力いただいた株式会社菊水フォーミングに厚くお礼申し上げます。本検討は公益財団法人 JKA からの補助を受けた設備を利用して行いました。

## 文 献

- 1) 日本マグネシウム協会編, マグネシウム技術便覧, カロス出版株式会社; p.114-118(2000).
- 2) 日本マグネシウム協会編, マグネシウム技術便覧, カロス出版株式会社; p.139-150(2000).
- 3) 田村洋介、柳澤毅、気田悠作、為広博、河野紀雄、Hiroshi SODA、Alexander McLean; AZ91 マグネシウム合金の時効析出挙動および機械的性質に及ぼすマンガンの影響, 軽金属, 57(10), p.450-456(2007).
- 4) 高山善匡, 結晶粒度の評価法, 軽金属, 44(1), p.48-56(1994).