

## ZnAlCuMg27-2.5-0.2합금의 시효과정에 대한 연구

전명준, 김청룡, 방명일

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리 과학자들은 어떻게 하나 여러가지 아연제품을 만드는 방법을 연구하여 아연도금제품, 아연합금제품, 아연화학제품을 만들어야 합니다.》(《김일성전집》 제78권 482페이지)

Zn-Al계합금은 좋은 내마모성과 방진특성을 가지지만 합금조직이 매우 복잡하며 결정화과정에 포정 및 공정반응을 일으킨다.[2] 또한 Zn-Al계합금은 팽각과 시효과정에 고체상변태를 일으키며 여기에 적은 량의 Cu와 Mg를 첨가하면 상변태과정과 합금조직은 훨씬 복잡해진다.[1]

우리는 용해법으로 제작한 ZnAlCuMg27-2.5-0.2합금의 자연시효과정에 대하여 연구하였다.

### 1. Zn-Al계합금의 제작

우리는 Zn-Al계합금가운데서 력학적성질이 좋은 ZnAl<sub>27</sub>합금을 선택하고 여기에 적은 량의 Cu와 Mg를 첨가하였다.(표 1)

Zn-Al-Cu-Mg합금에서 성분원소들은 밀도차가 크기때문에 비중편석과 조성편석을 일으키기 쉽다. 이것을 막기 위하여 실험에서는 전자기교반용중주파유도로 《ZG-0.001》에서 ZnAlCuMg27-2.5-0.2조성의 합금을 용해하고 금형주조하였다.

먼저 흑연도가니에 저울질한 Zn의 절반과 Cu, Al을 넣고 보조장입통에 나머지 Zn과 Mg를 넣고 배기한 다음 진공도가  $5.0 \times 10^{-2}$ Pa에 이르렀을 때 아르곤보호기체를 0.08MPa로 채우고 2~3min동안 예열하고 용해하였다. 다음 보조장입통에 넣은 나머지 금속들을 도가니에 넣고 다시 1~2min동안 용해하였다. 그리고 전자기교반에 의해 용액의 조성이 균일해진 다음 전원을 끄고 강철컵에 주조하였다.

이것을 일정한 시간동안 로팅시킨 다음 방안온도까지 팽각시켰다. 이때 온도측정은 W-WRe열전대를 리용하여 진행하였다.

표 1. ZnAlCuMg27-2.5-0.2합금의 조성

성분원소	조성/질량%
Zn	70.2
Al	27.0
Cu	2.5
Mg	0.2
기타불순물	0.1이하

### 2. Zn-Al 2원합금상태도에 기초한 결정화과정연구

Zn-Al계2원합금의 상태도는 그림 1과 같다.[2]

Zn-27%Al합금의 결정화과정에 액상으로부터 초정  $\alpha$  상이 결정화되어나오며 455°C에서  $\alpha$  상과 액상이 포정반응을 일으켜 면심립방구조의  $\beta$  상으로 변태된다. 포정  $\beta$  상의 조성은 75질량%Zn이며 팽각속도가 빠르면 이 반응이 충분히 일어나지 않고 따라서 많은  $\alpha$

상이  $\beta$  상으로 변태되지 않는다. 결국 현미경조직에서는 나무가지결정의  $\alpha$  상표면에 한층의  $\beta$  상이 형성된다는것을 알수 있다.

일정한 온도구간에서는 단상  $\beta$  상이 존재하고 온도가 내려감에 따라  $\beta$  상은 용액속으로 Zn을 내보내어 용액속의 Zn함량을 증가시키며  $381^{\circ}\text{C}$ 에서 남아있는 액상은 공정반응을 일으켜 전부  $\beta$  상과  $\eta$  상으로 변태된다.

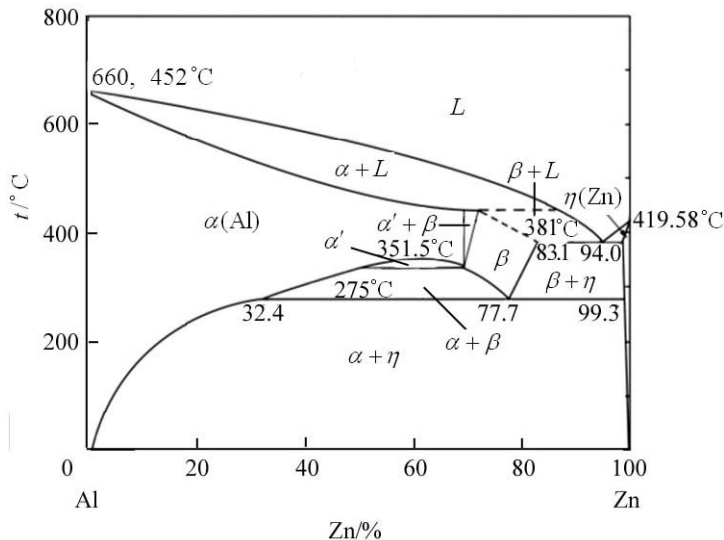


그림 1. Zn-Al 2원합금상태도

공정  $\beta$  상과 공정  $\eta$  상의 조성은 각각 83.1질량%, 94질량%Zn이다. 공정반응이 끝난 다음 현미경조직에서는 포정  $\beta$  상사이에 공정조직이 형성된다.

한편 Cu는 결정화과정에 일부가  $\alpha$ ,  $\beta$  상에 고용되며 나머지는 공정액체속으로 배출되는 반면에 공정체에 Cu가 풍부한  $\varepsilon$  상( $\text{CuZn}_4$ )이 형성된다.

따라서 결정화가 방금 끝났을 때 합금의 조직은 초정  $\alpha$  상과 Zn이 풍부한  $\beta$  상 그리고 그사이에 분포된 망상  $\eta$  상과  $\varepsilon$  상으로 되어있다. 계속 냉각과정에  $275^{\circ}\text{C}$ 에서  $\beta$  상은 공석변태를 일으켜  $\alpha$  와  $\eta$  상으로 분해된다.

이때  $\beta$  상의 조성은 77.7질량%Zn이며 공석  $\alpha$  상과 공석  $\eta$  상의 조성은 각각 32.4질량%, 99.3질량%Zn이다.

이러한 상태도에 따르면 합금을 주조하였을 때 그 현미경조직은 나무가지결정의 Al이 풍부한  $\alpha$  상, Zn이 풍부한  $\beta$  상과 그사이에 분포된 망상  $\eta$  상과  $\varepsilon$  상으로 되어있다.

결정화과정에는 먼저 나무가지결정의  $\alpha$  상이 결정화되어나오고 그후 포정변태가 일어나  $\alpha$  상의 일부가  $\beta$  상으로 변태되고  $\beta$  상경계에서 3상공정체 ( $\eta + \beta + \varepsilon$ )상이 생긴다.

$\beta$  상은 불안정한 상이므로 총상  $\alpha + \eta$  상으로 분해되어야 하며 나무가지결정사이에서도 일정한 량의  $\eta$  상이 석출되어나온다.

자연시효를 한 다음  $\beta$  상은  $\alpha$  상과  $\eta$  상으로 분해되고  $\varepsilon$  상은 4상반응을 일으켜 새로운 상[1]으로 넘어간다.

## 3. 합금의 자연시효과정연구

방안온도( $15^{\circ}\text{C}$ )에서 각각 15, 30일동안 자연시효한 ZnAlCuMg 27-2.5-0.2합금(시편 1, 2)의 X-선회절도형은 그림 2, 3과 같다. 또한 상분석프로그램(JADE)을 리용하여 X-선회절도형에서 나타난 회절선들의 면지수와 상을 결정하면 표 2와 같다.

그림 2, 3에서 보는바와 같이 시편 1에서 나타난 4개의  $\alpha$  상회절선(3, 10, 14, 19)의 세기가운데서 2개(10, 14)는 시편 2에서 크게 증가하였고 2개(3, 19)는 거의 변하지 않았다. 또한 시편 1에서 나타난 4개의  $\beta$  상회절선의(5, 11, 15, 20) 세기가운데서 시편 2에서 1개는 약간 감소하고(5) 1개는 크게 감소하였으며(11) 나머지 2개(15, 20)는 감소되어 측정에 거의 걸리지 않았다.

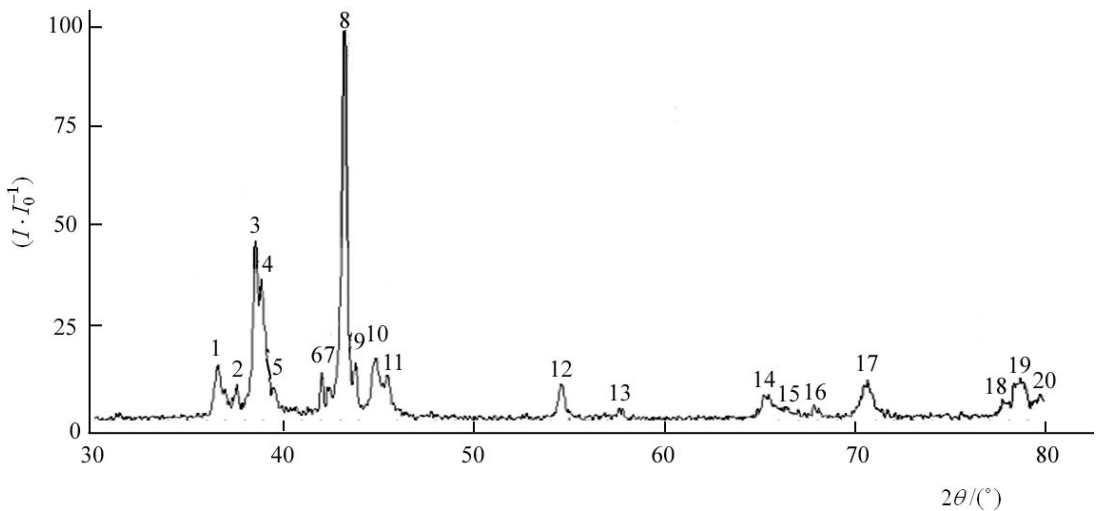


그림 2. 시편 1의 X-선회절도형

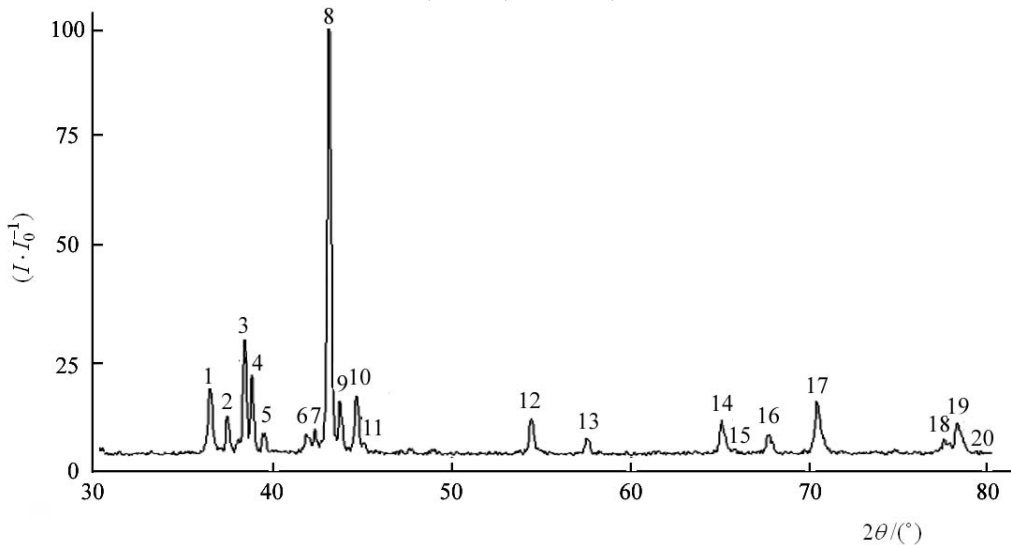


그림 3. 시편 2의 X-선회절도형

표 2. 면지수와 상결정값

봉우리번호	면지수	상	봉우리번호	면지수	상	봉우리번호	면지수	상
1	(002)	$\eta$	8	(101)	$\eta$	15	(220)	$\beta$
2	(100)	$\varepsilon$	9			16	(110)	$\varepsilon$
3	(111)	$\alpha$	10	(200)	$\alpha$	17	(110)	$\eta$
4	(100)	$\eta$	11	(200)	$\beta$	18	(013)	$\varepsilon$
5	(111)	$\beta$	12	(102)	$\eta$	19	(311)	$\alpha$
6			13	(012)	$\varepsilon$	20	(311)	$\beta$
7			14	(220)	$\alpha$			

한편 4개의  $\varepsilon$  상회절선들의 세기는 시편 1에 비하여 시편 2에서 모두 증가하였으며 5개의  $\eta$  상회절선들 가운데서 4개는 세기가 증가하고 나머지 1개는 약간 감소하였다.

이로부터 자연시효과정에 제조한 합금의 상변태과정을 다음과 같이 설명할 수 있다.

자연시효과정에 불안정한  $\beta$  상은 대부분이 변태되어  $\alpha$  상과  $\eta$  상으로 넘어가며 일부  $\alpha$  상과  $\eta$  상으로부터 각각  $\eta$  상과  $\varepsilon$  상이 석출된다. 그림 1, 2에서 확정하지 못한 3개의 회절선들은  $\varepsilon$  상으로부터 석출된 상들의 회절선으로 볼 수 있다.

## 맺 는 말

1) 상태도에 따르면 ZnAlCuMg27-2.5-0.2 합금의 방안온도조직에는 초정  $\alpha$  상과 포정  $\beta$  상, 공석  $\alpha + \eta$  상,  $\varepsilon$  상이 존재할 수 있다.

2) 자연시효과정에 불안정한  $\beta$  상은 대부분이 변태되어  $\alpha$  상과  $\eta$  상으로 넘어가며 일부  $\alpha$  상과  $\eta$  상으로부터 각각  $\eta$  상과  $\varepsilon$  상이 석출된다.

## 참 고 문 헌

[1] 陈体军; 中国有色金属学报, 12, 2, 294, 2004.

[2] Yao huazhu; Materials Transactions, 45, 11, 3083, 2004.

주체103(2014)년 12월 5일 원고접수

## On the Aging Process of ZnAlCuMg27-2.5-0.2 Alloys

Jon Myong Jun, Kim Chong Ryong and Pang Myong Il

We have made ZnAlCuMg27-2.5-0.2 alloys by medium frequency induction melting process and studied on the aging process of the alloys.

According to the phase diagram there will be the primary crystal  $\alpha$ , peritectic  $\beta$ , eutectoid  $\alpha + \eta$  and  $\varepsilon$  phase in the room temperature microstructures of ZnAlCuMg27-2.5-0.2 alloys. During natural ageing most of unstable  $\beta$  phase have turned into  $\alpha$  and  $\beta$  phase, and  $\eta$  and  $\varepsilon$  phase have deposited from some  $\beta$  and  $\eta$  phase respectively.

Key words: ZnAlCuMg alloy, natural ageing