

Al-Ni-Y 비정질 합금의 열적특성 및 고온변형특성에 관한 연구

고병철 · 김종현 · 유연철
인하대학교 공과대학 금속공학과

Thermal Properties and High Temperature Deformation Behaviors of Al-Ni-Y Amorphous Alloy

Byung-Chul Ko, Jong-Hyun Kim, and Yeon-Chul Yoo
Department of Metallurgical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

ABSTRACT

High temperature deformation behavior of $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ alloy extrudates fabricated with amorphous ribbons was investigated at temperature range from 300 to 550 °C by torsion tests. Thermal properties of amorphous ribbons as a function of aging temperature was studied by Differential Scanning Calorimetry(DSC). The Al phase crystallite firstly formed in the amorphous ribbons and its crystallization temperature(T_x) was ~210 °C. During the processings of consolidation and extrusion, nano-grained structure was formed in the $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ alloy extrudates. The as-extrudated $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ alloy and the $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ alloy annealed at 250 °C for 1 hour showed the flow curve of DRV(dynamic recovery) during hot deformation at 400-550 °C. On the other hand, the $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ alloy annealed at 400 °C for 1 hour showed the flow curve of DRX(dynamic recrystallization) during hot deformation at 450-500 °C.

1. 서론

나노재료의 결정립 크기는 기존의 재료와는 근본적으로 차이가 나므로 변형거동 역시 차이가 날 것이며 또한 기존 결정립 재료에서와 같이 전위에 의한 강화기구가 동일하게 적용될 수 있는가는 대단히 중요한 문제이며, 이는 이 재료를 벌크화 시에 반드시 필요한 압연·압출·인발 등의 고온 소성가공 공정을 이해하는 데에도 반드시 필요한 부분이라 할 수 있다.

Al계 비정질 합금 중 Al-Ni-Y 비정질 합금은 ~980 MPa 이상의 높은 인장강도와 양호한 굽힘 연신을 등의 우수한 기계적 특성과 뛰어난 내식성을 갖는 재료로써, 명료한 유리전이(glass transition) 현상을 특징으로 한다^{1, 2)}. 따라서 본 연구에서는 고강도 경량합금 개발 차원에서 Al-Ni-Y의 3원계 조성 합금을 선정하여 멜트 스피닝

(melt spinning)의 급냉법으로 비정질 리본 시료들을 만들고 이들의 열적특성으로부터 적정 성형조건을 밝힘은 물론 벌크화된 나노결정립 재료의 고온변형특성이 기존금속 재료와 어떠한 차이가 있는지를 밝히고자 하였다. 즉, 비정질 시료를 결정화 온도 (crystallization temperature, T_x) 근처 혹은 적정온도 조건에서 압출하여 나노결정립의 벌크재료를 제조함은 물론 이의 동적연화 현상을 구명하고자 하였다.

2. 실험방법

나노결정립의 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 합금 압출재의 제조를 위해 단롤형(single roll) 멜트 스피닝기를 이용하여 폭 1.5~2 mm, 두께 20~70 μm 의 리본(ribbon) 시료를 얻었다. 얻어진 비정질 리본들로부터 나노결정립의 벌크 압출재의 제조를 위한 적정 성형 및 압출온도 조건을 얻고자 시차열량분석기(differential scanning calorimetry, DSC)를 사용하여 멜트 스피닝시 얻어진 리본의 비정질화 정도와 어닐링 처리에 따른 결정화 정도를 분석하였다.

$Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 합금의 비정질 리본으로부터 나노결정립으로의 벌크화는 얻어진 리본들을 직경 50 mm×길이 60 mm Al 6061 캔에 장입하여 400 $^{\circ}C$ 에서 120 MPa의 압력으로 가압성형하고 난 후 430 $^{\circ}C$ 에서 압출비 25 : 1로 직접 압출하여 봉상의 압출재를 얻었으며, 이를 250 $^{\circ}C$ 및 400 $^{\circ}C$ 에서 1 시간 동안 어닐링처리한 후 300, 350, 400, 450, 500, 550 $^{\circ}C$ 에서 0.5/sec의 변형속도로 고온 비틀림 시험하였으며, 얻어진 유동응력 곡선으로부터 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 합금 압출재의 고온연화 및 고온유동응력 특성을 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

비정질 리본의 열적특성

그림 1은 ~70 μm 의 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 리본재의 어닐링 온도에 따른 시차주사열량(DSC) 곡선이다. 급냉용고된 리본재의 경우 ~210 $^{\circ}C$ (결정화 시작온도 : T_x)에서 시작되는 비교적 넓고 약한 강도를 가지는 첫 번째 발열 피크와 ~334 $^{\circ}C$ 에서 최대치를 갖는 좁고 예리한 강도의 두 번째 발열 피크 및 ~364 $^{\circ}C$ 에서의 세 번째 발열 피크 3 개로 이루어져 있다. 이러한 리본재를 250 $^{\circ}C$ 에서 어닐링한 경우는 어닐링처리를 하지 않은 리본재와는 달리 ~210 $^{\circ}C$ 에서의 첫 번째 발열 피크는 사라지고 ~334 $^{\circ}C$ 의 두 번째 발열피크와 ~364 $^{\circ}C$ 의 세 번째 발열 피크만이 나타났으며, 어닐링 온도가 300 $^{\circ}C$ 인 경우에는 세 번째 발열피크만이 나타났다. 또한, 어닐링 온도가 350 $^{\circ}C$ 인 경우에는 비정질 상에서 나타났던 모든 발열 피크가 나타나지 않는 것으로 보아 ~350 $^{\circ}C$ 이상에서는 비정질 리본의 완전 결정화가 일어남을 알 수 있다. 또한, 각각의 발열피크의 세기는 어닐링 온도 증가에 따라서도 감소하는 것으로 보아 온도증가에 따라서 열역학적으로 준안정 상태에 있는 비정질상으로부터 AI 상 및 화합물상의 분율이 점차 증가함을 알 수 있으며, 350 $^{\circ}C$ 에서는 비정질상 모두가 결정화됨을 알 수 있었다.

리본압출재의 변형특성

그림 2(a)는 어닐링 처리를 하지 않은 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 리본 압출재를 300~550 $^{\circ}C$ 온도범위에서 0.5/sec로 변형하고 난 후의 고온유동응력 곡선으로서 변형온도가 300→550 $^{\circ}C$ 로 증가함에 따라 유동응력은 280→67 MPa로 감소하였고 파괴변형률은 0.21→1.69로

증가하였다. 즉, 유동응력 곡선상에 300 °C에서는 DRX에 의한 정상상태(steady state) 영역이 없이 가공경화 후 곧 과단되는 특성을 보였으며, 350 °C에서는 유동응력곡선의 형태가 가공경화 단계를 지나 최대응력의 단일 피크(single peak)를 보인 후 좁은 구간의 정상상태를 보이는 유동응력곡선을 얻었다. 그러나, 400~550 °C의 변형온도 구간에서는 300, 350 °C 변형온도와는 달리 가공경화 후 바로 넓은 구간의 정상상태를 보이는 DRV 형태의 유동응력을 보였다. 그림 2(a)에서와 같이, 어닐링처리를 하지 않은 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 리본 압출재를 350 °C에서 변형할 경우 유동곡선 형태는 단일 피크를 갖는 DRX와 유사하지만, 정상상태 구간이 작고 낮은 연신율($\epsilon_f=0.38$)에서 바로 과단되는 특성으로 보아 이는 고온변형 중 전위 축적과 소멸에 따른 DRX 연화특성 때문이 아니라 변형시 리본들끼리 계면에서 응력집중이 우세하기 때문이라고 판단된다. 그러나, 400 °C 이상의 변형온도에는 연신율이 증가하였으며, 550 °C에서 가장 높은 연신율($\epsilon_f=1.69$)을 나타내었다. 따라서, $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 리본 압출재는 ~350 °C 이하의 저온에서는 취성 특성을, ~400 °C 이상의 고온에서는 연성 특성을 보였으며 이 재료의 고온연화기구는 유동곡선의 형태로 보아 DRV라고 하는 것이 타당하겠다.

그림 2(b), (c)는 각각 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 리본 압출재를 250 °C, 400 °C에서 1 시간 동안 어닐링 처리하고 난 후 400~500 °C의 온도범위에서 0.5/sec로 고온변형하고 난 후의 유동응력 곡선이다. 250 °C에서 어닐링처리를 한 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 리본 압출재의 유동응력 곡선의 형태도 어닐링 처리를 하지 않은 경우와 마찬가지로 DRV 형태였으며, 유동응력 및 파괴변형률도 어닐링처리를 하지 않은 경우와 비슷하였다. 그러나, 400 °C에서 어닐링 처리를 한 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 리본 압출재의 유동응력곡선의 형태는 가공경화 단계를 지나 최대응력의 단일피크(single peak)를 보이는 DRX(dynamic recrystallization) 형태를 나타내었으며, 유동응력 및 파괴변형률은 어닐링 처리를 하지 않은 압출재 및 250 °C 어닐링재보다 높게 나타났다.

4. 결 론

$Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 비정질 리본의 결정화시작온도는 ~210 °C였고, ~334 °C에서 화합물상 석출 그리고 ~364 °C에서 재결정이 완료되는 3 단계 결정화 거동을 보였으며, 가압 성형 및 압출공정을 이용하여 나노결정립의 벌크 성형화(bulk consolidation)가 가능하였다. 어닐링 처리를 하지 않은 리본압출재 및 250 °C에서 어닐링한 리본압출재의 고온변형시($T=400\sim 550$ °C, $\dot{\epsilon}=0.5/sec$) 유동응력곡선은 가공경화 후 정상상태를 보이는 동적회복(DRV) 형태로 나타났으나, 400 °C에서 어닐링한 리본압출재의 경우는 동적재결정(DRX)의 유동곡선 형태를 나타내었다.

후 기

본 연구는 1996년도 한국과학재단 ('96 핵심전문연구: 과제번호 961-0801-003-2) 연구비 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Y. H. Kim, A. Inoue and T. Masumoto, 1990, Ultrahigh Tensile Strengths of

$Al_{85}Y_2Ni_9M_1$ ($M=Mn$ or Fe) Amorphous Alloys Containing Finely Dispersed fcc-Al Particles, *Mater. Trans., JIM*, **31**(8), pp. 747-749.

2. A. Inoue, K. Ohtera, A. Tsai, H. Kimura and T. Masumoto, 1990, New Amorphous Al-Ln ($Ln=Pr, Nd, Sm$ or Gd) Alloys Prepared by Melt Spinning, *Japan J. of Applied Phys.* **27**(9), pp. L1597-L1586.

3. 고병철, 유연철, 나노결정립 크기의 $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ 합금 압출재의 제조 및 고온변형 특성에 관한 연구, *대한금속학회지*, in press.

4. B. C. Ko, K. Park, and Y. C. Yoo, Hot Deformation Behavior of SiCp/Al 2024 Composites Reinforced with Different Sizes of SiCp Reinforcements, *Mater. Sci. and Technol.*, in press

5. Y. C. Yoo, J. S. Jeon and H. I. Lee, 1997, The Effect of SiC Whiskers on the Hot Deformation Behavior of SiCw/AA2124 Composites, *Comp. Sci. and Technol.*, **57** pp. 651-654.

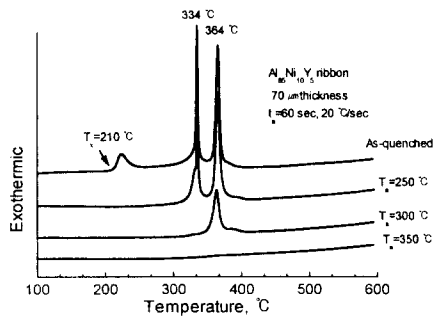


Fig. 1. Differential scanning calorimetric curve of an amorphous $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ alloy ribbon with 70 μm thickness annealed at different temperatures for 60 sec.

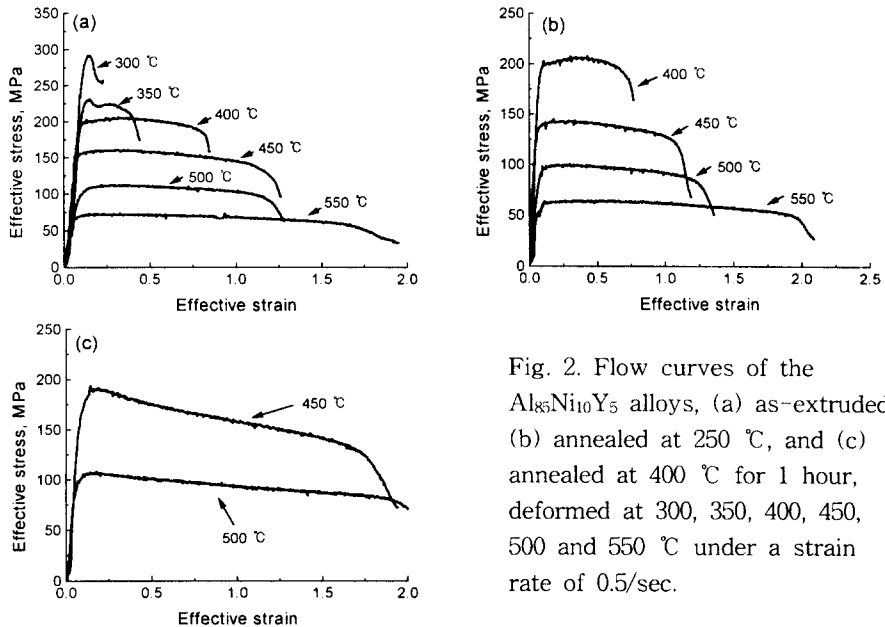


Fig. 2. Flow curves of the $Al_{85}Ni_{10}Y_5$ alloys, (a) as-extruded, (b) annealed at 250 °C, and (c) annealed at 400 °C for 1 hour, deformed at 300, 350, 400, 450, 500 and 550 °C under a strain rate of 0.5/sec.