

급속응고 Al-Ni-Mm 합금분말 압출재의 기계적 성질

김형섭

충남대학교 금속공학과

Mechanical Properties of Rapidly Solidified Al-Ni-Mm Alloy Powders Consolidated by Extrusion

Abstract

In this study, Al-Ni-Mm alloy has been produced by a gas atomization technique and consolidated by a powder extrusion method. The powders showed mixed structures of amorphous, fcc-Al phases and intermetallics. Each phase shows different size and quantity with different size of the powders due to the higher cooling rate of the finer powders. Because of the difference of the microstructure, the powders with the different size show differences of the mechanical properties of the powders and extrudates.

Key Words : Rapidly solidified material, Powder extrusion, Al-Ni-Mm

1. 서론

좋은 연성을 지닌 Al-란탄금속-천이금속 급속응고재에 관한 연구가 최근 많이 수행되고 있다. 이들 Al기 비정질합금은 1500 MPa 이상의 높은 인장강도를 보인다^{1,2)}. 그러나 이들 우수한 강도의 결과들은 주로 단롤법에 의해 제조된 단면적이 약 0.02~1.0 mm² 인 리본에서 얻은 것들이다. 좋은 연성의 고강도 Al합금을 실용화시키기 위해서는 합금분말을 압출이나 단조를 이용해서 덩어리 형태로 제조하는 것이 필수적이다³⁾.

비정질합금 분말을 덩어리 형태로 만들기 위하여 많은 방법들이 사용되고 있는데, 그 중에서 가장 널리 이용되고 있는 것은 압출법⁴⁾이다. Kawamura 등⁵⁾은 25 μm 크기 이하의 Al₈₅Ni₁₀Mm₅ 비정질 분말을 압출 시 압출재의 성질에 미치는 압출변수의 영향을 체계적으로 고찰하였다.

이번 연구에서는 기체분무법으로 제조한 Al-14wt%Ni-14wt%Mm 분말압출 시 압출재의 미세조직 및 기계적성질에 미치는 분말입도의 영향을 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

순금속으로부터 Al-14wt%Ni-14wt%

Mm (Mm=misch metal) 모합금을 진공 분위기, 흑연도가니의 고주파유도로에서 준비하였다. Mm의 조성은 51 wt% Ce, 26 wt% La, 14.25 wt% Nd, 5.33 wt% Pr, 1.43 wt% Fe, 0.12 wt% Ba 이다. 모합금을 용해한 후 1.4 MPa의 질소기체로 분사하여 구형의 분말을 제조하였다. 제조된 분말을 기계적으로 체질하여 -26 μm, 45~53 μm, 75~90 μm의 크기로 분류하였다. 크기별로 분류된 분말들을 각각 압출성에 좋다고 알려진 원통형 Al강통에 장입하여 냉간압분 후 400 °C에서 10⁻³ torr의 압력으로 1 시간 동안 탈기체처리하였다. 탈기체처리된 압분체를 즉시 300 ton 수평식 열간 압출기에서 압출을 실시하였다. 금형의 다이반각은 90 °이고 금형에서 압출비는 25:1, 압출재의 지름은 10 mm이다. 압출하는 동안 재료, 컨테이너 및 금형의 온도는 400 °C로 유지되었다.

분급된 분말의 형상과 표면상태를 주사전자현미경으로 관찰하였다. 분사된 분말과 탈기체처리된 분말은 에폭시수지로 마운팅하여 10 gr의 하중으로 미소비커스경도를 측정하였다. 압출재로부터 인장시편을 제작하여 Instron4206에서 변형속도 0.5 mm/sec로 상온인장실험을 하였다. 인장방향은 압출방향과 동일하게

하였다. 분급된 분말과 압출재의 미세조직을 EDX가 장착된 JE2010 투과전자현미경, 열분석기, X선회절분석으로 조사하였다. 압출재의 단면을 광학현미경으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

분말특성

급속응고 분말의 특성은 재료의 미세조직, 즉 냉각속도와 밀접한 관계가 있다. 그림 1에 $-26\ \mu\text{m}$, $45\sim 53\ \mu\text{m}$, $75\sim 90\ \mu\text{m}$ 의 입도로 분급된 분말의 단면을 부식시킨 미세조직의 SEM 사진을 보였다. 분말이 형상은 기본적으로 구형이다. 입자의 미세조직을 보면 미세한 입자에서는 뚜렷한 명암차이가 나타나지 않는 데 반해 조대한 입자에서는 $25\ \mu\text{m}$ 정도의 수지상 조직을 볼 수 있다. 이는 미세한 입자는 비정질상이고 조대한 입자는 결정상임을 나타낸다. 입자의 내부기공은 거의 없었다. 이러한 미세조직은 입도의 차이에 의한 응고속도의 차이에 기인하는 것으로서, 구형 입자의 덩어리계에서 응고 시 열수지를 고려하면, 고압기체분사법에서는 열전달계수가 매우 커서 응고속도는 입자크기에 반비례한다. 따라서 미세한 입자일수록 빠른 냉각속도, 즉 더 큰 비정질형성 경향을 나타낼 것이다.

그림 2는 분말의 명시야상을 보여준다. $26\ \mu\text{m}$ 이하의 분말은 $10\sim 40\ \text{nm}$ 지름의 나노결정 fcc-Al상과 결정화되지 않은 비정질 기지의 혼합된 조직이다. $45\sim 53\ \mu\text{m}$ 분말은 fcc-Al, Al_3Ni , $\text{Al}_{11}\text{La}_3$, Al_4Ce 과 확인되지 않은 $30\sim 50\ \text{nm}$ 의 석출물들로 이루어져 있다. 조대한 분말은 느린 응고속도로 인하여 조대하고 많은 양의 석출물들과 적은 양의 비정질상으로 구성되어 있다.

압출재 특성

그림 3은 결정화온도보다 높은 $400\ ^\circ\text{C}$ 에서 압출한 압출재의 반지름방향 단면의

광학현미경사진이다. 백색의 띠영역은 불균질하게 연신된 입자를 나타낸다. $-26\ \mu\text{m}$ 의 입자의 압출재에서는 이 띠가 짧으나 $75\sim 90\ \mu\text{m}$ 의 조대한 입자의 압출재에서는 길게 나타난다. 이 띠는 분사제조된 분말의 압출재에서는 일반적으로 나타나는 현상⁷⁾으로 주위의 다른 분말보다 강한 분말 각각의 변형된 형태를 나타내는 것이다. 각 띠의 종횡비는 압출비인 25:1보다는 약간 작운데, 이는 이 분말이 주위의 분말보다 강하므로 변형이 덜 되었기 때문이다.

비록 XRD 결과는 초기 분말의 입도에 무관하게 압출재가 같은 상을 가지고 있음을 알려주지만, 그림 4의 TEM 명시야상을 보면 각 상의 크기는 다르다는 것을 알 수 있다. $70\sim 90\ \mu\text{m}$ 입도 분말로부터의 압출재는 $70\sim 90\ \text{nm}$ 의 fcc-Al, $200\sim 400\ \text{nm}$ 크기의 침상형 AlNi계 금속간화합물과 약 $100\ \text{nm}$ 의 AlCe계 금속간화합물로 구성되어 있다. $45\sim 53\ \mu\text{m}$ 입도 분말로부터의 압출재는 약 $400\ \text{nm}$ 의 fcc-Al, $200\ \text{nm}$ 크기의 AlNi계 금속간화합물과 약 $90\ \text{nm}$ 의 AlCe계 금속간화합물로 구성되어 있다. $-26\ \mu\text{m}$ 분말로부터의 압출재는 $200\ \text{nm}$ 의 fcc-Al, $100\sim 150\ \text{nm}$ 크기의 침상형 AlNi계 금속간화합물과 약 $40\sim 80\ \text{nm}$ 의 AlCe계 금속간화합물로 구성되어 있다. 즉, 초기분말입도가 감소할수록 압출재에서의 Al 결정과 금속간화합물의 크기는 증가한다. 이러한 결정립 및 입자의 크기 차이는 압출재의 기계적성질과 관계있다.

그림 5에 압출재의 인장강도와 연신율을 보였다. 입도가 $75\sim 90$, $45\sim 53$, $-26\ \mu\text{m}$ 로 미세해질수록 인장강도는 512, 566, 728 MPa로, 연신율은 0.7, 0.8, 1.4 %로 각각 증가하였다. 이는 미세조직에서 결정립도 및 석출입자의 크기 때문이다. 조대한 분말에 비하여 분무된 분말의 입도가 미세하면, 응고가 이루어지는 동안 응고속도가 빠르게 되고 비정질 기지에 나노미터 크기의 fcc-Al이 혼합된 미세조직이 형성되고, 탈기체와 압출이 되고나면 압출재는, 초기에 이미 결정화되어 성장이 많이 일어나는 조대한 분말의 압출재보다, 강도와 연성이 높아진다. 즉, 결정화된 비정질 Al합금의 강화

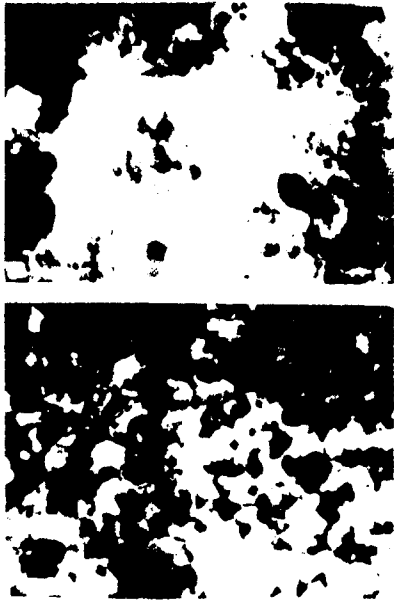


Figure 2. TEM of Al-Ni-Mm alloys powders. (a)- $26\ \mu\text{m}$, (b) $45\text{--}53\ \mu\text{m}$.



Figure 4. TEM of extruded Al-Ni-Mm alloys. (a)- $26\ \mu\text{m}$, (b) $45\text{--}53\ \mu\text{m}$, and (c) $75\text{--}90\ \mu\text{m}$.

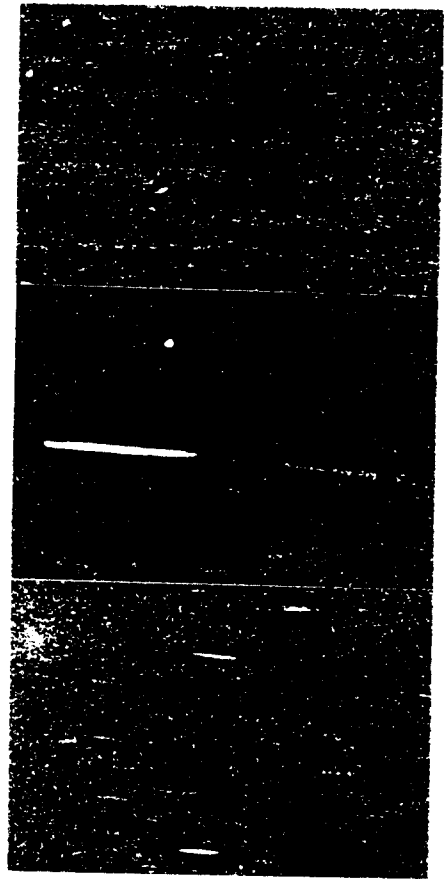


Figure 3. OM of Al-Ni-Mm alloys extrudates. (a)- $26\ \mu\text{m}$, (b) $45\text{--}53\ \mu\text{m}$, and (c) $75\text{--}90\ \mu\text{m}$ in diameter.

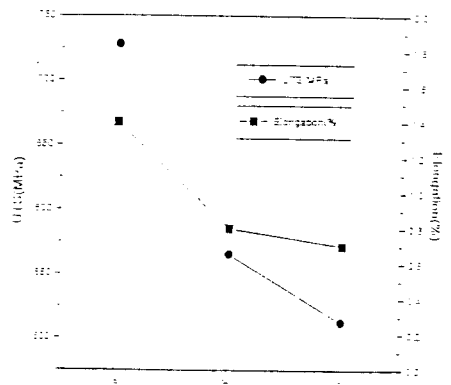


Figure 5. UTS and elongation of Al-Ni-Mm alloys extrudates.

기구는 결정립미세화와 분산강화이므로, 미세한 분말의 압출재는 미세한 결정립과 석출물로 이루어져 조대한 분말의 압출재보다 높은 강도를 보이는 것이다.

(1995) 519.

7. E. Bouchad, L. Kubin and H. Octor : Metall. Trans., 22A (1991) 1021.

4. 결론

고압기체분사법과 분말압출법을 Al-14wt%Ni-14wt%Mn 합금에 적용한 결과 금속간화합물이 균일하게 분포된 미세한 결정립을 얻었고 높은 상온강도를 얻었다. 초기 입도가 -26, 45~53, 75~90 μm 인 분말의 압출재의 인장강도는 Al과 금속간화합물의 양이 동일함에도 불구하고 각각 700, 550, 500 MPa로 다르다. 미세한 초기 분말의 압출재가 높은 강도와 연신율을 보이는 것은, 초기 상태가 비정질과 미세한 Al 입자의 혼합 조직으로서, 균일하게 분포된 각 상들이 열간에서도 성장이 덜 되어 미세하기 때문이다.

참고문헌

1. A. Inoue, K. Ohtera, A. P. Tsai and T. Matsumoto : Jpn. J. Appl. Phys., 27 (1988) L479.
2. Y. H. Kim, A. Inoue and T. Matsumoto : Mater. Trans. JIM, 32 (1991) 331.
3. Y. Kawamura, M. Tagaki, M. Senoo and T. Imura : Mater. Sci. Eng., 98 (1988) 1415.
4. M. Lieblich, G. Garuana, M. Torralba and H. Jones : Powder Metall., 39 (1996) 143.
5. Y. Kawamura, A. Inoue, K. Sasamori and T. Matsumoto : Mater. Sci. Eng., A181/A182 (1994) 1174.
6. N. Wang, Z. Wang, K. T. Aust and U. Erb : Acta Metall. Mater., 43

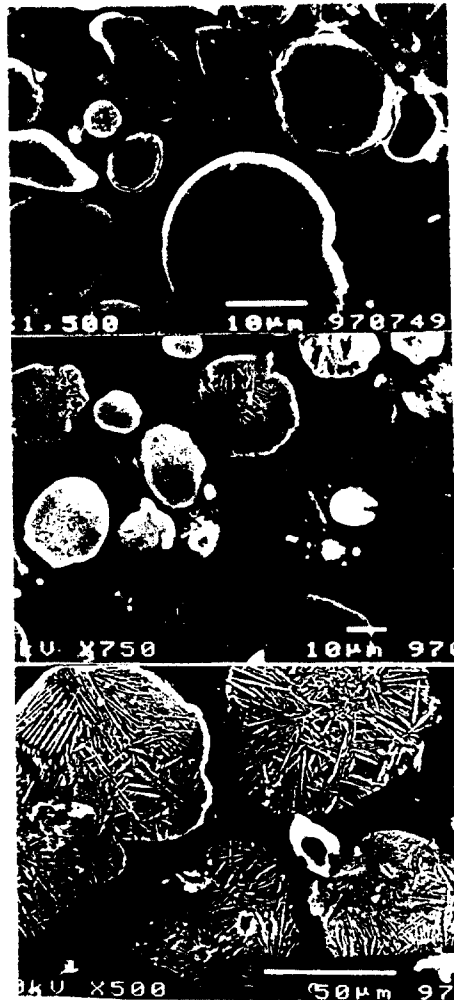


Figure 1. Scanning electron micrographs of gas atomized Al-14wt%Ni-14wt%Mn alloy powders. (a) -26 μm , (b) 45-53 μm , and (c) 75-90 μm in diameter.