

비열처리형 초내열 알루미늄합금도체 개발

김상수, 김병걸
한국전기연구원

The Development of New Extra-Heat Resistant Aluminum Alloy Conductor without Non-Heat Treatment Process

Shang-shu Kim, Byung-Geol Kim
KERI

1. 서론

현재까지 송전용량 증대용으로 개발된 내열 Al합금 도체는 150℃에서 연속사용이 가능한 도전을 58%급 TAl(Thermal-resistant Aluminum-alloy)과 연속사용온도가 210℃이고, 도전이 60%이상인 STAl(Super Thermal-resistant Aluminum-alloy)이 있다. STAl은 재료 내부에 준안정상인 Al₃Zr 석출물을 형성시켜 이것이 고온에서도 결정입계의 이동을 억제함으로써 높은 내열특성을 달성하고 있다. Zr원자의 원자반경은 16nm로 Al의 14.3nm에 비해 상당히 크고, 용점 또한 대단히 높기 때문에, 열처리 시 그 확산속도가 매우 느려, Al₃Zr 준안정상을 석출시키기 위해서는 450℃의 고온에서 48시간 이상의 장시간 열처리가 필요하다. 그러므로 STAl의 경우는 야금학적인 면에서나 에너지 절약 차원에서 개량의 여지가 대단히 크다고 할 수 있다.

본 연구에서는 STAl 제조 시, 첨가원소의 편석을 최소화하고, 석출상 형성을 위한 열처리공정이 필요하지 않는 비열처리형 STAl을 연속주조법을 이용하여 개발하는 것을 목적으로 한다. 이는 상태도상에서 허용되는 최소한의 성분 범위내에서 다수의 원소들을 동시에 첨가하여 각 원소들의 강화효과를 복합화하는 개념을 도입함으로써 달성될 수 있다.

2. 결과 및 고찰

2.1 Properzi법 연속주조

Al합금을 연속주조하는 방법으로는 판을 제조하기 위해서는 Hunter법, 3C법, Caster법, SCR법 등이 있고, 선(wire)의 제조를 위해서는 대표적인 것이 Properzi법이다. 가공전선용 도체를 생산하기 위한 공정과 개략도를 그림 1, 그림 2에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 용해로에서 출탕된 용탕은 탕도를 따라 이동 후 mold ring에 유입되고 mold ring은 내, 외부에서 냉각수가 분사되어 사각형태의 cast bar로 응고된다. cast bar는 약 460℃ ~ 490℃의 고온을 유지한 상태에서 연속다단압연기를 통하여 직경 9.5mm 정도의 wire로 압연된다. 용해로는 10ton/charge 이상의 대용량을 요구하므로 일반적으로 반사로를 이용하고 mold ring은 우수한 열전도도 및 내마모성을 요구하므로 단조한 Cu-Be, Cu-Ag 등의 소재를 사

용한다. 연속주조에 의해 생산된 직경 9.5mm의 wire는 냉간신선공정을 거치면서 더욱 가는 wire로 선선된다.

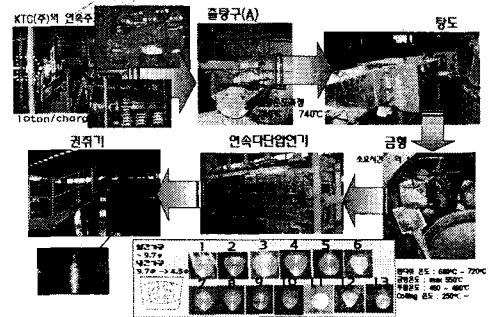


그림 1 연속주조법(Properzi법)에 의한 비열처리형 초내열 Al합금 제조공정

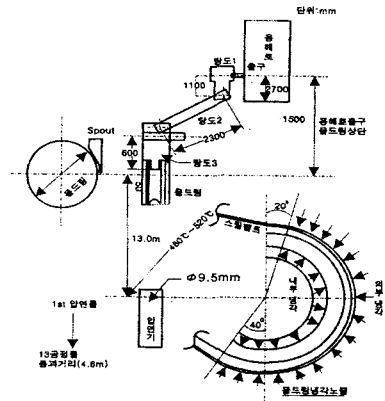


그림 2 연속주조법(Properzi법)에 의한 비열처리형 초내열 Al합금 공정개략도

2.2 Al-Zr합금의 특성

그림 3은 EC Al과 Al-Zr합금을 90% 열간가공과 78.6% 냉간가공공정을 통해 제조된 제품의 강도와 전기전도도(%IACS)를 나타낸 것이다. EC Al의 인장강도는 16.6kgf/mm²으로 전선용 Al합금의 강도기준을 만족하였다. Zr을 첨가하면 강도는 점차적으로 증가하였으며, Al-0.3wt%Zr합금의 인장강도는 17.85kgf/mm²으로 상당히 높게 나타났다. 그러나 반대로 강도가 증가하면 초기 EC Al의 전기전도도가 60.72%IACS에서 55.4%IACS로

감소하게 된다. 강도와 도전율은 반대되는 요소로 Al_3Zr 에 의해 강도는 증가하지만 전기전도도는 감소하게 된다. 가공에 의한 전기전도도는 약 2 ~ 3%IACS 정도 감소하였다. EC Al Casting bar 63.0%IACS에서 90%의 열간가공과 78.6% 냉간가공에 의해 60.7%IACS로 2.3%IACS 감소하였다. Al-0.3%Zr합금의 경우 57.0%IACS에서 가공에 의해 55.4%IACS로 감소하였다. 이는 가공 중에 형성된 전위 등의 결함에 의해 증가된 것이다.

Al-0.05wt%Zr합금의 강도와 전기전도도는 17.07kgf/mm²과 59.41%IACS로 본 연구 목표인 비열처리형 초내열 Al합금 개발에 가장 근접하였다. Zr함량을 0.05% ~ 0.1%범위에 기타 성분(Ti, Sc, MM, Y 등)을 첨가할 경우 우수한 특성이 나타날 것으로 사료된다.

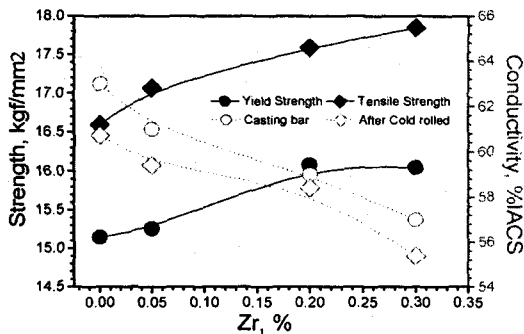


그림 3 Zr함량에 대한 강도와 전기전도도 변화

그림 4와 그림 5는 Al-0.05%Zr, Al-0.3%Zr합금의 가공재에 대해서 재결정온도를 측정하기 위하여 200°C에서 500°C까지 각 100°C단위로 1시간 동안 열처리 후 인장시험을 실시하였다. 재결정온도는 인장강도가 50% 연화하는 온도로 결정하였다.

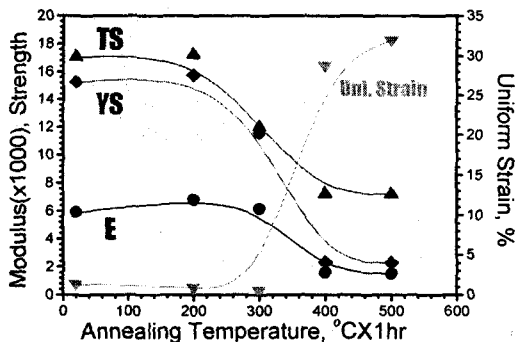


그림 4 Al-0.05wt%Zr 합금의 온도특성

전반적으로 EC Al의 형태와 유사한 경향성을 나타내었다. 200°C에서 1시간 열처리한 EC Al 합금은 항복강도, 인장강도와 탄성계수등의 기계적 특성이 감소하기 시작하였지만 Zr이 첨가된 합금의 경우 200°C, 1시간 열처리에서

기계적 성질은 거의 상온과 유사하였으며 Al-0.3%Zr합금에서는 강도가 상온에 비해 증가하는 현상이 나타났으며 300°C, 1시간 열처리까지 강도의 감소는 전혀 나타나지 않았다. 이는 저온 시효현상에 의해 강도 증가가 나타난다. 또한 Zr을 첨가할수록 고용강화와 시효석출 등에 의해 재결정온도는 증가하였다. 78.6%로 냉간가공된 EC Al의 재결정온도는 약 360°C이며, Al-0.3wt%Zr합금의 경우 약 420°C로 증가하였다.

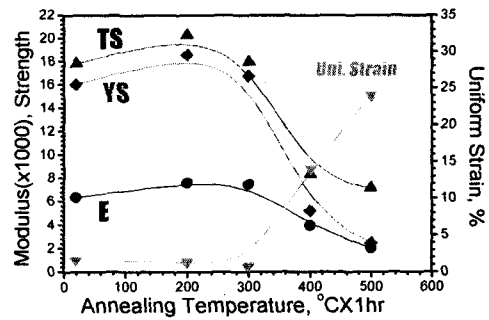


그림 5 Al-0.3wt%Zr 합금의 온도특성

그림 6은 각 온도에서 1시간 동안 열처리 과정에서 전기전도도의 변화를 나타낸 것이다. 열처리시 냉간가공재에 비해 전기전도도가 약 1 ~ 2%IACS 정도 증가하였다. 이는 냉간가공 과정에 도입된 전위나 잔류응력 등이 열처리 시에 소멸 또는 감소하는 것이 원인인 것으로 사료된다. 반면에 Al-0.3wt%Zr합금의 경우 300°C×1시간 열처리에 의해 59.25%IACS, 500°C×1시간 열처리로 최대 61.2%IACS까지 증가하였다. 이는 가공 중에 형성된 전위나 잔류응력의 소멸 이외에 고용된 Zr이 Al_3Zr 로 석출되는 것에 의한 것이다.

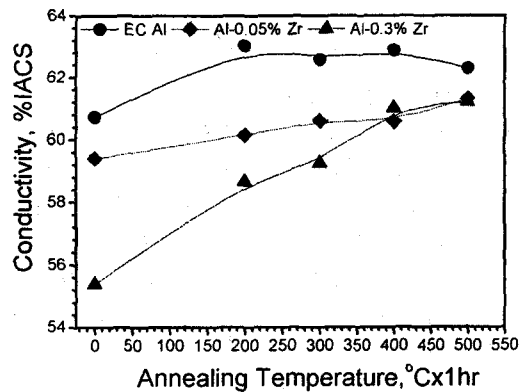


그림 6 열처리시 Zr함량에 따른 전기전도도