

결정립 미세화 기술 (CREO 처리)

임 석 원

강릉영동대학 비철금속과

Grain Refinement Technology (CREO Treatment)

S. W. Lim

Dept. of Non-ferrous Metallurgical Engineering, Gangneung Yeongdong College, Gangneung 210-792, Korea

1. 서 론

금속재료의 강도향상, 천이온도저하, 결합제거 등을 목적으로 하는 결정립의 미세화는 응고결정의 미세화, 재결정립의 미세화, 변태생성립의 미세화 등 다양한 방법들로 나뉘어져 있다.

최근 봉재를 국부적으로 가열하면서 비틀림변형을 주어 결정립을 미세화하는 기술 「RMA-CREO (CREO 처리)」를 규슈공업대학 첨단금형센터에서 개발하였다. 급형이 필요 없는 소형설계를 이용함으

로서 저비용으로 재료의 고강도화 및 고피로강도화를 꾀할 수 있다.

적용재료도 강재나 Al합금, 스테인리스강, Mg합금, Cu합금, Ti합금 등으로 광범위하다. CREO 처리한 재료를 자동차의 감속기 등에 적용하면 제품의 소형화나 저비용화에 공헌할 수 있을 것이다.

2. 미세화 프로세스

그림 1(a)는 결정립 미세화 기술을 적용하고 있는

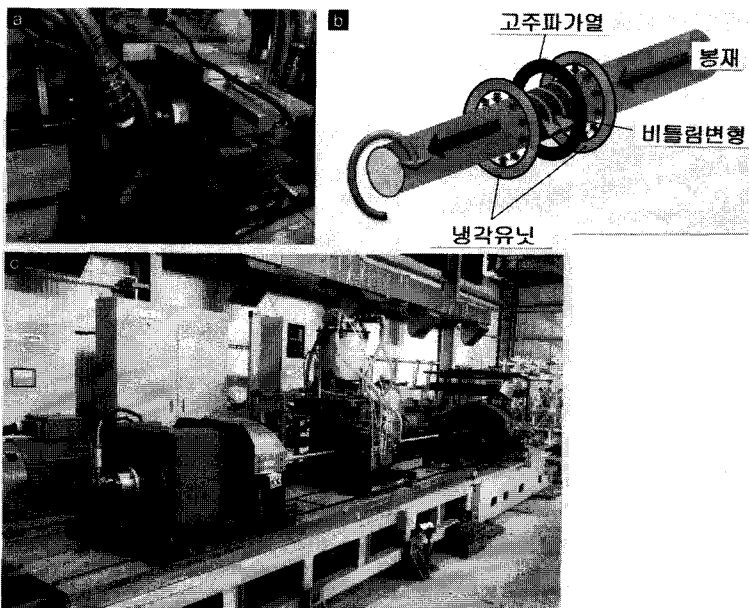


그림 1. 결정립 미세화 기술(CREO 처리)의 적용.

상태이며 밝게 보이는 부분이 가열부이다. 그림 1(b)에서 나타나는 바와 같이, 중앙부에서 봉재가 비틀림 변형을 받고 있다. 봉재를 회전시키면서 가열부에 비틀림을 가함으로써 결정립이 미세화되는 것이다. 동시에 열처리의 이중효과로 기계적 특성이 향상된다. 그 때문에 특히 첨가원소가 필요하지 않아 리사이클링의 향상에도 기여한다. 그림 1(c)는 개발된 미세화 장치이며, 적용할 수 있는 봉재의 크기는 Al합금과 Mg합금이 직경 15~90×2000 mm, 그 외의 합금이 직경 15~50×4000 mm이다.

구체적으로 설명하면, 봉재를 링 형상의 고주파코일과 그 양쪽에 있는 동일 링 형상의 냉각유닛 속으로 통과시키고 양쪽 끝을 모터에 직결된 유압 척으로 유지한다. 고주파코일로 가열을 시작하면 봉재의 일정부분만이 국부적으로 변형저항이 작은 영역이 된다. 이 상태에서 봉재의 양쪽 끝을 유지하고 있는 유압 척의 한쪽 혹은 양쪽을 회전시키면, 비접촉상태에서 가열부에만 비틀림변형을 주어 결정립은 큰 전단응력을 받아 미세화된다. 고주파코일을 좌우로부터 끼우듯이 배치한 냉각유닛은 미세화된 결정립이 다시 조대화하지 않도록 바로 수냉시키는 역할을 한다.

비틀림변형을 부여하였을 때 발생하는 전단응력은 봉재단면의 바깥둘레만큼 커진다. 그 때문에 언뜻 보기에 결정립은 바깥둘레로부터 중심부로 향하여 커질 것 같이 생각할 수 있으나, 실제로는 중심부를 제외하고 거의 균일한 결정립 크기로 된다.

이와 같은 결정립의 미세화를 봉재 전체에 걸쳐

연속적으로 실시하기 위하여 고주파코일과 냉각유닛을 축방향으로 이동시킨다. 결정립 미세화의 효과는 다양한 재료에서 확인되고 있으며, 예를 들어 Al합금에서는 평균 결정입경이 1 μm까지 미세화되었다. 그림 2에서 나타나는 바와 같이, Al합금뿐만 아니라 Mg합금, 철강, 스테인리스강, Ti합금, Cu합금 모두의 재료에 있어서 미세화되어 있다는 것을 알 수 있다.

3. 열처리 효과

앞에서 설명한 바와 같이, 재료가 고성능화하면 제품의 소형화나 저비용화 등을 꾀할 수 있다. 그 때문에 CREO 처리에서는 미세화라는 방법을 이용하여 고강도화나 고피로강도화를 실현할 수 있는데, 실은 그 뿐만이 아니다. 열처리라는 방법도 유효하게 이용하는 것이다.

실제 열처리형 Al합금인 6063합금에 CREO 처리를 하면, 미세화와 열처리 모두의 효과가 서로 어우러져 인장강도가 250 MPa에서 290 MPa로 대폭 향상된다. 유압척의 회전토크나 가열온도, 축방향 이동 속도, 전력, 냉각속도 등의 처리조건을 최적화하면 한층 고강도화를 기대할 수 있을 것이다. CREO 처리는 결정립의 미세화나 열처리뿐만 아니라, 결정방위나 섬유상 조직의 제어에도 유효한 일석삼조의 기술로서 특히 기존 열처리합금의 기계적 특성 향상에 공헌할 것이다.

그러나 CREO 처리의 비용이 높아지거나 사용하기

재 질	처리후	처리전	재 질	처리후	처리전
Al합금 (A5056)			스테인리스강 (SUS304)		
Mg합금 (AZ31)			Ti합금 (Ti-6Al-4V)		
철강 (S45C)			Cu합금 (C2800)		

그림 2. CREO 처리 전후의 결정조직.

가 불편하거나 하면 실용화는 멀어지게 된다, 동일한 강변형 가공을 이용하여 결정립을 미세화하는 기술로서 최근 활발히 연구되고 있는, 즉 소재를 L자형의 공간에 압출시켜 전단변형을 가하는 방법(ECAE: Equal Channel Angular Extrusion, ECAP: Equal Channel Angular Pressing)이 있다. 이 경우 결정입경은 $0.1\ \mu\text{m}$ 까지 작아지나 제조공정이 불연속하며 대형설비가 필요하다는 이유로 실용화는 매우 제한적이다.

이에 비해 CREO 처리를 하는 결정립 미세화 장치는 제조공정이 연속적이며 대형설비가 필요하지 않다. 또한 생산성이 높으며 금형이 필요하지 않는 등 종래의 강변형 가공장치의 약점을 극복하였다.

4. 가공온도 저하 효과

CREO 처리에 의해 고성능화한 재료를 일반적인 열간단조 등에 적용하면 가공 시의 열로 인하여 향상되었던 특성이 오히려 열화 혹은 소실되어 버린다. 이것을 방지하기 위하여 CREO 처리와 병행하여 CREO 처리된 재료의 특성을 최대한으로 살린 소성가공기술 「RMA-ALBA」가 개발되었다. 포인트는 복잡형상의 가공을 장점으로 하고 있는 항온단조나 온간단조를 저온에서 실현하는 데에 있다.

항온단조는 재료와 금형을 같은 온도로 유지하면서 성형하는 방법이다. 한편 온간단조는 재료와 금형 모두를 가열하여 성형하는 방법이나 재료의 온도가 낮다. 즉 열간단조와의 차이는 가공온도이다. 온간단조의 가공온도가 열간단조보다 낮기 때문에 단조의 정밀도가 높아지는 것이다.

다시 말하여 가공온도를 낮추면 CREO 처리한 재료특성의 열화나 소실을 방지할 수 있다. 동시에 항온단조나 온간단조의 약점까지도 극복할 가능성이 있다. 실제 항온단조의 경우, 금형재료의 내열온도 이하에서 성형이 가능한 재료를 사용하거나 혹은 내열성이 높은 금형재료를 이용해야만 하는 제약이 있다. 더욱이 금형의 가열방법이나 윤활제의 내열성에도 과제가 남아있기 때문에, 현재는 재료의 경우 Ni기 합금이나 Ti합금을, 금형의 경우 초내열합금을 사용하여 주로 항공기분야나 스포츠용품분야에서 실용화가 이루어지고 있는 실정이다.

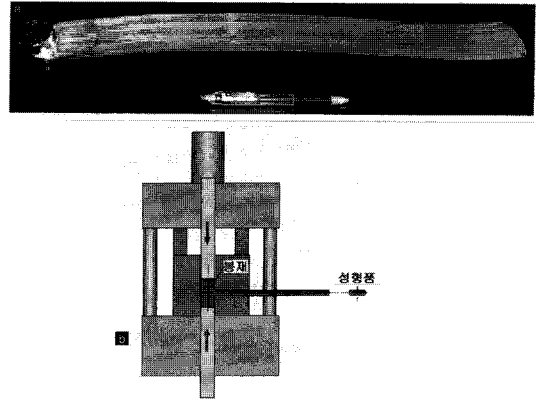


그림 3. 가로 압출단조 [(a) 성형품, (b) 금형].

그러나 가공온도를 낮출 수 있으면, 손쉽게 구입할 수 있고 저렴한 SKD61 등의 열간 다이스강을 금형 재료로 사용할 수 있고, 고체윤활제보다 다루기 편리한 액체윤활제를 이용할 수 있는 등 위에서 기술한 제약을 없앨 수 있게 된다.

일반적으로 결정립을 미세화하면 보다 저온영역에서 연성이 나타나게 된다. 그 발현온도는 결정립 크기에 의존하기 때문이다. 결국 CREO 처리를 하여 결정립이 미세화된 재료를 적용하면, 보다 저온에서 항온단조나 온간단조가 가능하게 되어 재료의 우수한 특성을 유지하면서 낮은 비용으로 성형이 가능해지는 것이다.

실제로 CREO 처리 전 재료의 단조온도와 처리 후 재료의 단조온도를 비교하여 보면, Mg합금이 330°C 이상과 180°C 이상, Al합금이 450°C 이상과 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 이상(Al합금의 경우 결정립을 미세화하지 않아도 항온단조는 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 에서 가능), Ti합금이 $900\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 와 $700\sim 750^{\circ}\text{C}$ 로 결정립을 미세화한 경우가 모두 낮아진다.

5. 강도 향상 효과

CREO 처리한 재료의 항온단조 예를 2가지 보기로 한다. 첫 번째는 가로로 압출단조한 예이다(그림 3). AZ61의 Mg합금을 이용하여 가공온도를 200°C 로 하였다. Mg합금의 소성가공은 앞에서 기술한 바와 같이 330°C 이상이므로 100°C 이상 낮은 온도이다. 구체적으로 설명하면, 가열장치를 갖춘 금형의

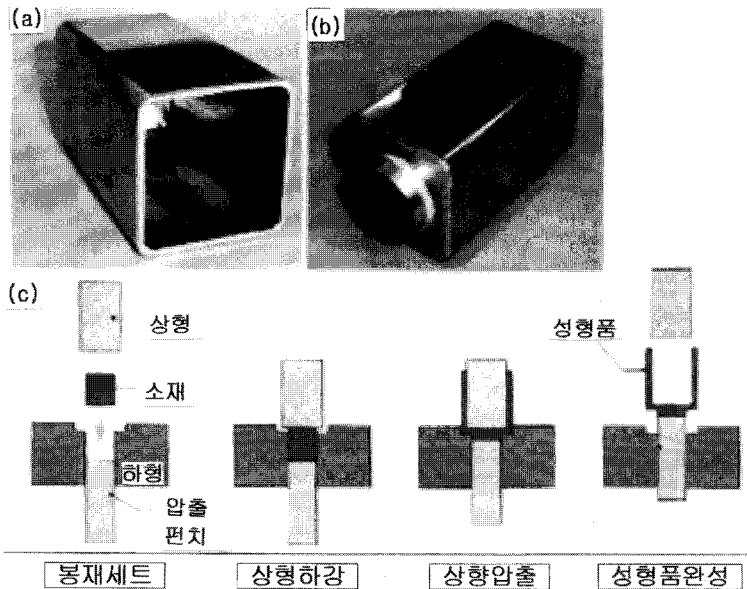


그림 4. 압광단조 [(a), (b) 성형품, (c) 금형].

거의 중앙에 직경 36 mm의 봉재를 세트하고 수직 방향에서 상하 2축으로 동시에 가압하여 수평방향으로 압출한다. 단조하중은 550 kN이며, 두께 2×폭 60×길이 500 mm 이상의 판재를 성형할 수 있다. 처음에는 상부만의 1축으로 가압을 실시하였으나 윤활제의 막 깨짐이 발생하여 도중에 성형이 불가능하게 되었다. 그래서 상하 2축으로 개량한 결과, 1축의 경우보다 낮은 하중으로 고속에서 압출가공에 성공하였다고 한다.

두 번째는 압광(expand)단조의 예이다(그림 4). 가로 압출단조의 경우와 마찬가지로 AZ61합금을 사용하고 가공온도는 더욱 낮은 180°C로 하였다. 봉재로부터 박육각통형상의 성형품을 얻기 위하여, 하형에는 세로 40×가로 40×깊이 5 mm의 각형상을 만

들고 상형은 36 mm 각으로 하였다. 하형에 세트된 직경 30 mm의 봉재를 아래로부터 위를 향하여 압출하면, 하형의 각형상 부분과 상형과의 2 mm 공간을 통하여 각통형상으로 성형된다. 단조하중은 420 kN으로 일반적인 압출법의 약 1/10 정도이다.

더욱 흥미로운 것은 내력이 미세화에 의해 약 2배, 다시 압광단조에 의해 약 2.5배 향상되었다는 점이다. 인장강도도 동일한 경향을 나타내었으며 미세화와 압광단조 공정을 거칠수록 증가하였다. 조직을 관찰한 결과, 처리 전에 14.7 μm이었던 결정입경이 미세화에 의해 약 1.6 μm로, 압광단조에 의해 약 1.23 μm까지 감소하였다. 공정을 거칠수록 보다 균일하고 보다 미세한 조직이 되어 강도가 향상되었음을 알 수 있다.