

**레이저빔과 전자빔에 의한 조성구배계면
Cr/Steel 재료의 제조에 관한 연구**
**Fabrication of Graded-Boundary Cr/Steel Material
by Laser Beam and Electron beam**

연세대학교 금속공학과 노재윤, 김도훈

I. 서론

조성구배재료는 기능이 다른 재료들 간의 조성을 연속적으로 경사시켜 복합기능을 가지도록 한 것으로서, 단일 재료로서 얻지 못하는 여러 가지 기능을 동시에 만족시키도록 하는 재료이다. 이러한 조성구배재료에 대한 개념은 열용력을 완화시키는 내열재료에서 시도되었으며, 그 설계의 이상적인 면을 활용할 수 있는 분야는 매우 광범위하다. 특히 고열등의 극한적인 환경이 주어지는 원자력 발전 및 열유체 분야에서 내열성 구조 재료의 제조는 매우 중요하다. 구배조성이 아니고 계면에서 급격한 조성변화가 존재하는 경우라면 열싸이클 시 두 재료의 열적 성질의 차이로 인하여 계면에서 급격한 응력집중이 발생한다. 그러나 조성구배재료의 경우에는 열적 성질이 급변하는 계면이 존재하지 않기 때문에 열싸이클에서 열응력 또는 잔류응력이 발생하기는 하나 그것이 응력집중으로 나타나지 않고 전체적으로 경감되므로 바람직한 결과를 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 레이저빔과 전자빔에 의한 금속의 표면합금화 방법을 이용하여 조성구배계면 Cr/Steel 재료 제조에 관한 기초 연구를 수행하였다.

II. 실험방법

본 실험에 사용된 기지로는 일반구조용 탄소강(SM20C)을 택했고, 합금 재료로서는 두께 0.5mm 순수 Cr 판재를 사용하였다. 탄소강위에 Cr판재를 올려놓고 지그를 이용하여 고정 시킨 후, aspect ratio(용융깊이/용융폭)가 1 이내로 되는 레이저빔 주사 조건(최고 출력 4kW, 주사속도 900mm/min, defocusing 3mm, 취입가스 Ar, 유량40CFH)과 전자빔 주사 조건(전압 50kV, 전류 40mA, 주사속도 500mm/min)을 구한다. 이 후 각각의 주사조건으로 50% 중첩조사하여 표면 합금화 시킨다. 레이저빔 또는 전자빔이 조사된 표면층은 부분적으로 거칠게 되므로 거칠어진 표면을 약간 연마 한 후 또 하나의 Cr판재를 밀착시킨 후에 다시 빔을 중첩 조사하여 조사하여 두번째층을 제작한다. 이 후 같은 방법을 수차례 반복하여 조성구배계면층을 형성시킨다. 이에 대한 실험 개략도를 Fig.1에 나타내었다.

이와 같이 형성된 조성구배계면층에 대하여 WDS 분석을 통해 표면으로부터 깊이 방향으로 Cr 및 Fe의 조성을 측정한다. 그리고 광학현미경을 이용하여 미세조직을 관찰하고, 저배율 현미경(Stereo Microscope)을 통해 조성구배계면층을 관찰한다. X-ray 회절실험(XRD)을 수행하여 각 부분의 상(phase)을 알아본다. 또한 미소경도기를 이용하여 각 구역의 경도를 측정하여 상변화와의 관계를 알아낸다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 조성구배화된 합금 재료의 단면들을 보여주고 있다

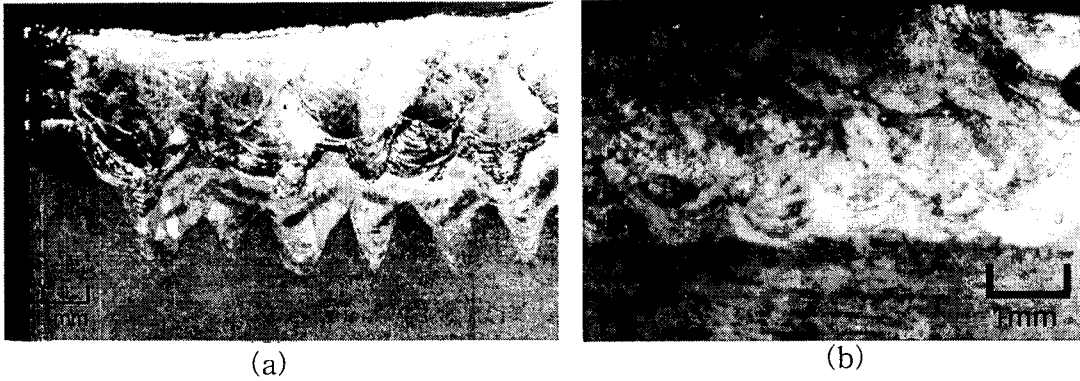


Fig. 1 Macrography of GBM Cross-Section (a)by laser (b)by electron beam

각 경우 고출력 레이저와 전자빔에 의해 양호한 형태의 4층 조성구배계면(GBM)이 형성되었음을 확인할 수 있다. 조성구배화된 합금층의 두께는 약 4mm이고, 여기서 보면 두 경우 모두 합금층에 약간의 기공이 관찰되는데 이는 용융층에서의 증기압, 표면 장력과 보조가스의 영향 등으로 보고되었다.

조성 분석을 위한 WDS분석 결과를 Fig.2에 나타내었다.

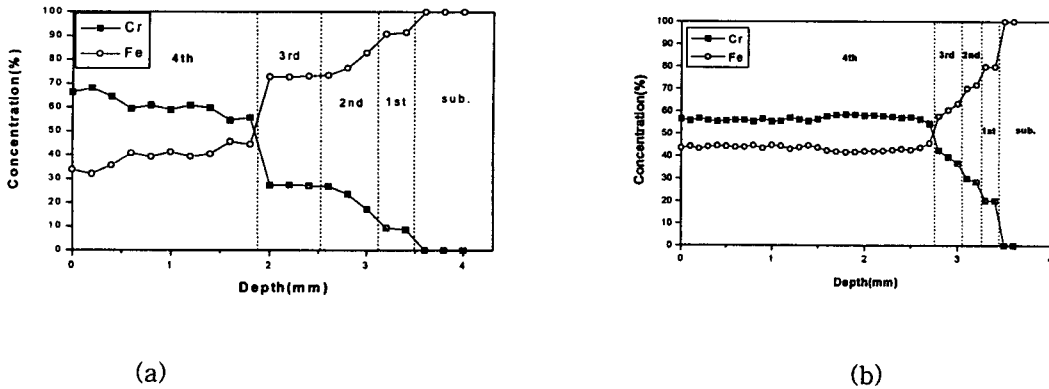


Fig. 2 WDS분석 결과 (a)레이저 사용시 조성분포 (b)전자빔 사용시 조성분포

두 경우 모두 대략 4mm의 합금층을 형성한다. 레이저의 경우 표면에서 깊이 방향으로 Cr은 66%에서 0%, Fe는 34%에서 100%로 연속적으로 변화하고, 전자빔에 의한 경우는 Cr은 56%에서 0%, Fe는 44%에서 100%로 연속적으로 변화한다. 하지만 두 경우 모두 4층에서는 거의 일정한 조성 분포를 갖는다. 특히 전자빔 사용시의 합금층을 살펴보면 레이저 사용때 보다 4층에서 매우 일정한 조성을 유지하는 데 이는 전자빔에 의한 입열량이 레이저에 의한

그것보다 월등히 크기 때문이라 생각할 수 있다.

다음으로, 상(phase)을 알아보기 위한 XRD분석을 실시하였다. 합금층의 모든 층과 기저부
 분에서 단지 α 상만이 나타났다. 이는 Cr과 Fe 모두 bcc구조일 뿐 아니라 급속냉각에 의해
 HAZ부분에 소량 생성된 조직도 마르텐사이트 조직(α')이기 때문이라 사료된다.

따라서 Fig.3의 경도 분포를 보면 기지에서 표면으로 갈수록 Cr함량의 증가에 의한 Cr 고
 용강화로 인해 경도가 높아진다. 레이저에 의한 합금층의 경우와 전자빔에 의한 합금층의 경
 우 모두 HAZ 부분의 경도가 높아진다. 이는 위에서 말한 바와 같이 레이저빔 혹은 전자빔
 조사 후 급속냉각에 의해 HAZ 부분에 마르텐사이트 조직이 생성됨에 기인한다. 하지만 그
 부분의 경도값이 일반적인 마르텐사이트상의 경도 값 보다 상대적으로 작다. 이는 여러층의
 합금층 형성을 위해 연속적으로 반복 조사한 레이저빔과 전자빔에 의하여 템퍼링 효과를 받
 아 연화된것으로 판단된다.

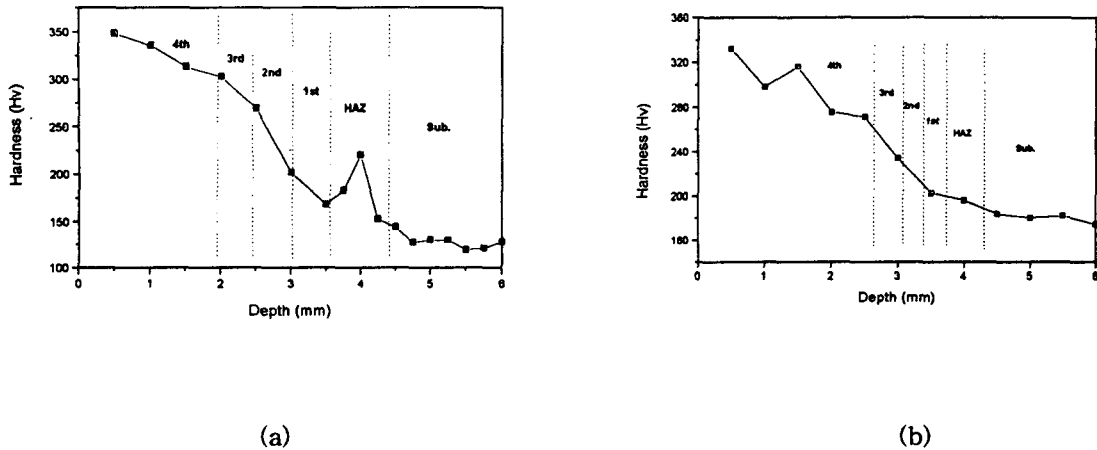


Fig. 3 Microhardness Profile (a) 레이저 사용시 경도분포 (b)전자빔 사용시 경도분포

IV. 결론

레이저빔을 이용한 금속의 조성구배화 방법은 금속표면에 내식성, 내마모성 및 내열성 등
 의 성질을 부여하기 위하여 이종 금속을 표면에 첨가 시킨 후 기지재료와의 합금화를 통해서
 조성구배계면을 갖는 재료를 제조하는 방법이다.

본 연구에서는 내열성 구조재료를 개발하기 위한 시도로써 레이저빔과 전자빔에 의한
 Cr/Steel 조성구배계면 재료를 각각 제조하기 위한 기초 연구를 실시하였다

1. 탄소강 위에 크롬 판재를 고정시킨 후 레이저빔을 이용한 조성구배재료와 전자빔을 이용
 한 조성구배재료를 각각 4층까지 제조하였다. 두 경우 모두 양호한 합금층이 형성된 조성구배
 계면재료(GBM)를 제조하였으며, 조성구배화된 합금층의 두께는 두 경우 다 약 4mm이었다.
 표면으로부터 조성 변화는 레이저를 사용하여 제작한 GBM의 경우 Cr이 66%에서 0%까지,
 Fe는 34%에서 100%까지 연속적으로 변화하였다. 전자빔을 사용하여 제작한 경우는 Cr이
 56%에서 0%까지, Fe는 44%에서 100%까지 변화하였다.

2. 레이저빔에 의한 조성구배화된 합금층 형성시 합금층의 두께를 작게하고, aspect ratio를 줄여 에너지 밀도를 감소시키면 조성의 변화를 더욱 점진적이고 연속적으로 할 수 있으며, 균열과 기공의 발생을 억제할 수 있을 것이다.

V. 참고문헌

1. 김도훈, 정재훈 : 대한금속학회지 35(4), pp.509-514,(1997)
2. 김도훈 : 레이저 가공학,경문사, pp.235-252,(1996)
3. Y. Itoh, M.Takahashi, H. Kashiwaya, H. Takano, N. Tachikawa, S. Adachi : Nuclear Engineering 37(4), pp. 59-65,(1991)
4. M. Koizumi : Ceramic Engineering Society Proc, 13(1992) 333
5. T.R. Anthony, H. E. Cline : "Surface rippling induced by surface-tension gradients during laser surface melting and alloying," Journal of Application Physics, 48(1977), pp. 3888-2894