

전자빔에 의한 계면경사 Ni(50%)-Cr(50%)/Steel 재료 제조에 관한 연구

Fabrication of Graded-Boundary Ni(50%)-Cr(50%)/Steel Material by Electron beam

연세대학교 금속공학과 *김재현, 김도훈

I. 서론

우주왕복선 분야, 원자력 분야, 항공 분야에서는 극고온과 극한 상황에서 쓰일 수 있는 용도지향성, 내열재료를 필요로 한다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 계면경사재료(Graded Boundary Materials)가 10년전 일본에서 연구되기 시작하였다. 계면경사재료는 기능이 다른 재료들 간의 조성을 연속적으로 경사시켜 복합기능을 가지도록 한 것으로, 단일 재료에선 얻지 못하는 여러 가지 기능을 동시에 만족시키도록 하는 재료이다. 이러한 계면경사재료에 대한 개념은 열응력을 완화시키는 내열재료에서 시도되었으며, 활용할 수 있는 분야는 매우 광범위하다. 계면경사가 아니고 계면에서 급격한 조성변화가 존재하는 경우라면 고온 열사이클 시 두 재료의 열적성질의 차이로 인하여 계면에서 급격한 응력집중이 발생한다. 그러나 계면경사재료의 경우에는 열적 성질이 급변하는 계면이 존재하지 않기 때문에 고온 열사이클에서 열응력 또는 잔류응력이 발생하기는 하나 그것이 응력집중으로 나타나지 않고 전체적으로 경감되므로 바람직한 결과를 가져온다. 따라서 본 연구에서는 내산화성 및 내식성과 함께 고온강도가 커서 고온에서 응력이 가해지는 경우에 구조재료로 우선적으로 사용되는 Ni-Cr강을 선택하여 계면경사화 시키기 위해, 집중된 열원인 고출력 전자빔에 의한 표면합금화 방법을 이용하여 계면경사 Ni(50%)-Cr(50%)/Steel 재료제조에 관한 기초 연구를 수행하였다.

II. 실험방법

본 실험에 사용된 기지로는 일반구조용 탄소강(SM20C)을 택했고, 합금 재료로서는 Arc Melting 하여 제조된 Ni(50%)-Cr(50%)합금을 두께 0.4mm로 방전가공(Electro Discharge Machining)한 판재를 사용하였다. 탄소강 위에 Ni(50%)-Cr(50%)판재를 올려놓고 바인더로 고정 시킨 후, aspect ratio(용융깊이/용융폭)가 1 이내로 되는 전자빔 조사조건(가속전압:50kV, 전류:40mA, Scanning Speed:500mm/min, Vacuum:10⁻⁵Torr)으로 각 합금층이 50% 중첩되게 조사하여 표면합금화 시켰다. 그 후 거칠어진 표면을 연마한 후 또 하나의 Ni(50%)-Cr(50%)판재를 밀착시킨 후에 다시 빔을 중첩조사하여 두번째 층을 만들었다. 이후 같은 방법을 수차례 반복하여 계면경사층을 형성시켰다.

이와 같이 형성된 계면경사층에 대하여 WDS분석을 통해 표면에서 깊이 방향으로 Ni, Cr 및 Fe의 조성을 측정하였다. 그리고 광학현미경(OM)과 전자현미경(SEM, TEM)을 이용하여 조직을 검사하였고, X-ray 회절실험(XRD)을 통해 각 부분의 상을 분석하였고, 또한 빅커스경도(Vickers Hardness) 시험을 통해 각 구역의 미소경도를 측정하였다. 그 외에 계면경사재료의 고온구조재료 특성을 알아보기 위해 레이저 섬광법(Laser Flash Method)을 이용해 Thermal Conductivity를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 GBM의 거시 단면 형상을 보여주고 있다.



Fig. 1 Macrography of GBM Cross-Section by electron beam

전체적으로 crack과 pore가 없는 양호한 계면경사(GBM)층이 형성되었으며, 전자빔에 의해 제조된 합금층은 4650 μm 였다. 레이저빔에 의해 제조된 합금층(2700 μm)에 비해 큰 이유는 재료표면에서 에너지 흡수율이 레이저빔에 비해 전자빔이 크기 때문이다.

Fig. 2는 표면에서 모재 내부까지 Ni, Cr 및 Fe의 함량을 WDS 분석한 결과이다.

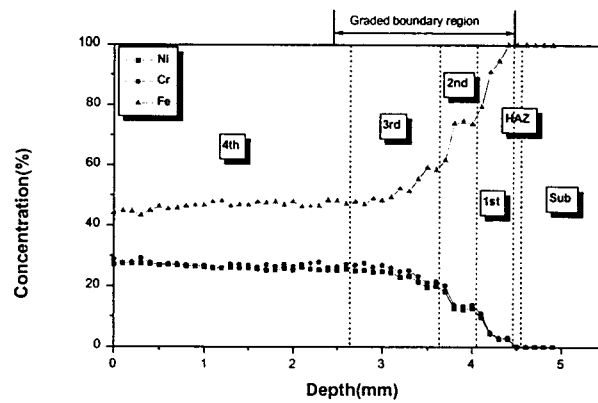


Fig. 2 Compositional Profiles by electron beam

표면에서 깊이 방향으로 Ni은 28%에서 0%, Cr은 29%에서 0%, Fe는 43%에서 100%로 연속적으로

변화하고 계면경사된 영역은 2.3mm부터 4.5mm였다.

Fig. 3은 합금층의 상(phase)을 분석하기 위하여 실시한 XRD결과이다.

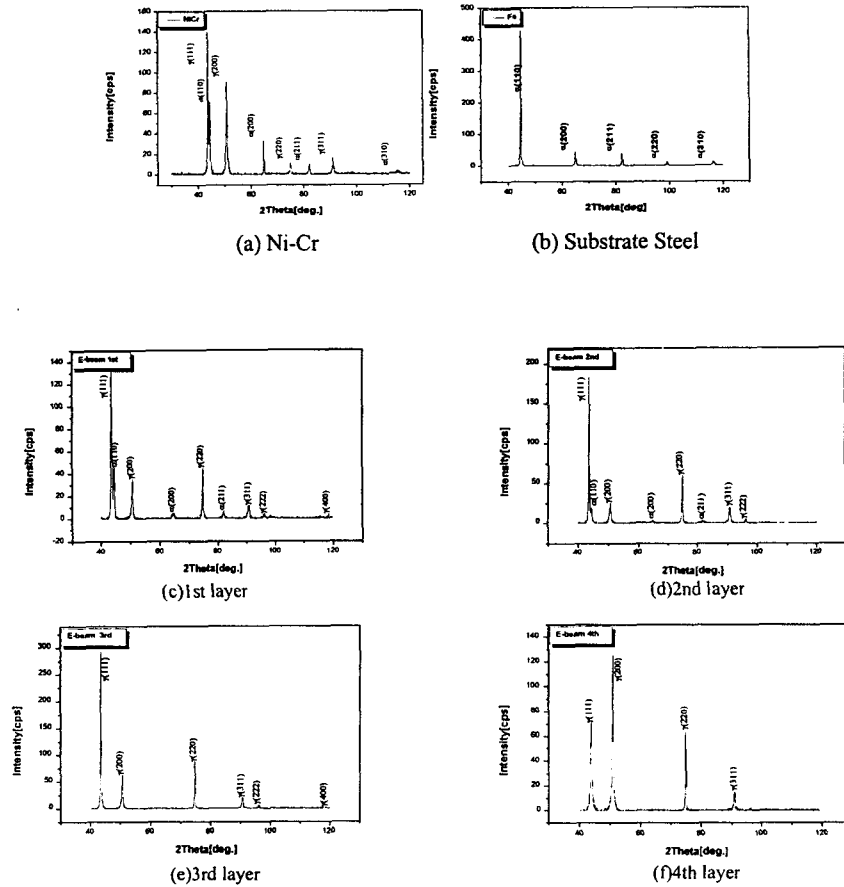


Fig. 3 XRD Analysis (a)Ni(50%)-Cr(50%) (b)Substrate (c)~(f)by electron beam

(a)는 합금재료인 Ni(50%)-Cr(50%)의 XRD분석결과로 α , γ 가 혼재되어 있는 peak가 관찰되었으며 (b)는 기지인 탄소강의 XRD분석결과로 bcc결정구조를 갖는 α -peak만이 관찰되었다. (c)~(f)는 전자빔에 의해 제조된 GBM의 XRD분석결과로 1층과 2층에서 α 상과 γ 상이 혼재되어 있는 상이 관찰되었으며 3층, 4층에서는 γ 상만이 나타났다.

Fig. 4는 미소경도 측정결과를 나타내었다.

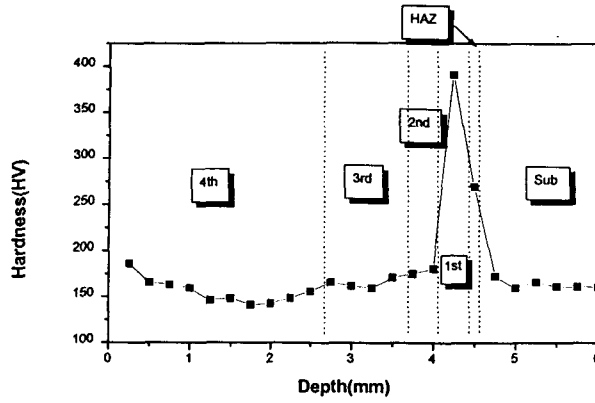


Fig. 4 Microhardness Profiles by electron beam

4th, 3rd, 2nd layer 및 모재는 약 170Hv로 일정한 경도값을 보이다 1st layer에서 390Hv로 증가된 경도값을 보였다. 이는 1층의 Ni, Cr함량이 각각 8%로 schaeffler's constitution diagram에서 martensite 구역에 위치하고 있어 martensite변태로 인한 경도치 상승으로 사료되어 진다.

Fig. 5는 Laser Flash Method를 이용하여 Thermal Conductivity를 측정된 결과이다.

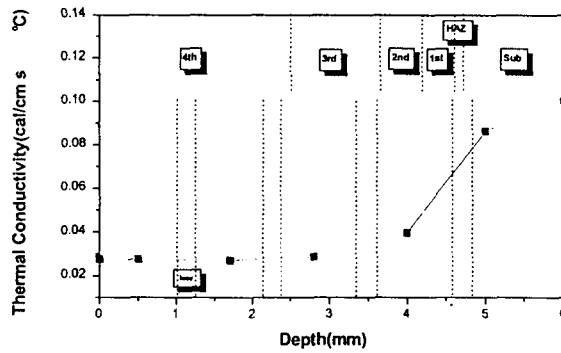


Fig. 5 Thermal Conductivity by electron beam

표면에서 깊이 방향으로 thermal conductivity가 서서히 증가하고 있음을 알수 있다. 4th, 3rd layer에

서의 Thermal Conductivity 값이 2nd, 1st, HAZ, 모재에서의 Thermal Conductivity 값보다 작은 이유는 4th, 3rd layer가 γ 상으로 이루어졌기 때문이다. Austenite의 열팽창계수가 ferrite의 열팽창계수보다 크며 이 때문에 Austenite의 thermal conductivity는 ferrite의 thermal conductivity보다 작다.

IV. 결론

집중된 열원인 고출력 전자빔에 의한 표면합금화 방법을 이용하여 계면경사 Ni(50%)-Cr(50%)/Steel 재료를 성공적으로 수행하였다. 이 경우 전체적으로 crack이나 pore가 없는 양호한 합금층이 형성되었으며 계면경사화된 합금층의 두께는 2.2mm였다. 표면으로부터 깊이방향으로 조성변화와 thermal conductivity가 연속적으로 변화한 것으로 보아 국부적인 열용량 집중을 완화 시킬수 있을 것으로 사료된다. 만일 주사조건과 방법을 달리하여 합금층의 두께를 더욱 작게하고, aspect ratio를 줄여 에너지 밀도를 더욱 감소시키면 조성의 변화를 더욱더 점진적이고 연속적으로 할수 있어 훨씬더 양호한 계면경사 재료를 얻을수 있을 것이다.

V. 참고문헌

1. Masayuki, Niino and Shuhei Maeda, ISIJ International, Vol.30, No.9, p699-703(1990)
2. A. J. Ruys, J. A. Kerdic, C.C. Sorrel, J. Mater. Sci., Vol.31, p4347-4355(1996)
3. P.Czubarow, D.Seyferth ; Journal of Materials Science 32(1997) p2121
4. Y.Itoh, M.Takahashi, H.Kashiwaya, H.Takano, N.Tachikawa, S.Adachi ; Nuclear Engineering(Japan), 37(1991) p59
5. G.W.Neetham ; Journal of Materials Science 26(1991) p853
6. M.Koizumi : Ceramic Engineering Society Proc, 13(1992) p333
7. 이종섭, 김숙환 : 대한금속학회지 16(3), p111-120, (1998)
8. M.Koizumi, M.Niino : Overview of FGM Research in Japan, MRS BULLETIN, January 1995, p19-21
9. Zhang Li, G.Fontana, Journal of Materials Processing Techonlogy 74(1998), p174-182
10. Hiromichi Ohta, Hiroyuki Shibata, Yoshio Waseda, Rey.Sci.Instrum.,Vol.60, No.3, March 1989