

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

Fabrication of Graded-Boundary Ni(50%)-Cr(50%)/Steel Material by Laser Beam

연세대학교 금속공학과 *김재현, 김도훈

I. 서론

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 레이저빔에 의한 표면합금화 방법을 이용하여 계면경사 Ni-Cr/Steel 재료 제조에 관한 기초 연구를 수행하였다.

II. 실험방법

본 실험에 사용된 기지로는 일반구조용 탄소강(SM20C)을 택했고, 합금 재료로서는 Arc Melting하여 제조된 Ni(50%)-Cr(50%)합금을 두께 0.4mm로 Wire Cutting한 판재를 사용하였다. 탄소강 위에 Ni(50%)-Cr(50%)판재를 올려놓고 바인더로 고정 시킨 후, aspect ratio (용융깊이/용융폭)가 1 이내로 되는 레이저빔의 주사조건(최고 출력:4kW, Scanning Speed: 2600mm/min, Defocusing:-3mm, Shielding Gas:Ar, 유량:40CFH)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 경도를 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.

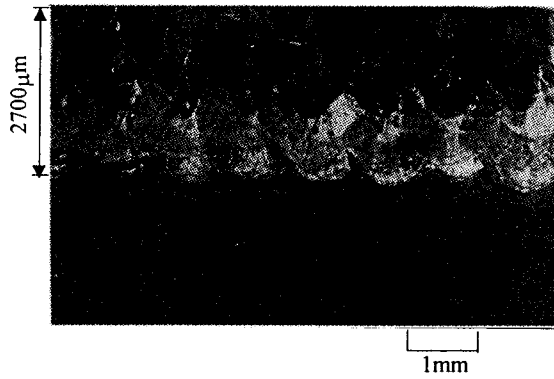


Fig. 1 Macrography of GBM Cross-Section by laser beam

약간의 crack이 4층에서 보이기 는 하나 전체적으로 pore가 없는 양호한 계면경사(GBM) 층이 형성되었으며, 레이저빔에 의해 제조된 합금층의 두께는 2700μm였다.

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

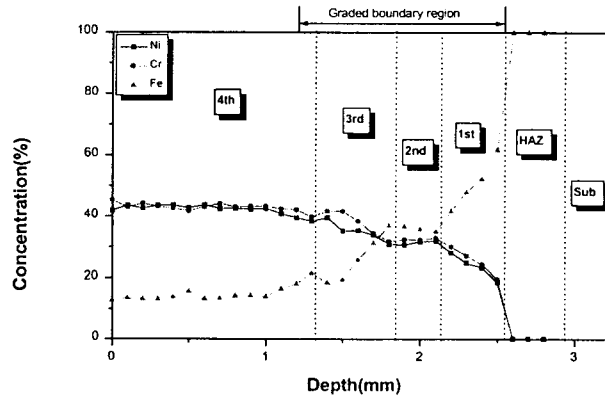


Fig. 2 Compositional Profiles by laser beam

표면에서 깊이 방향으로 Ni는 42%에서 0%, Cr은 45%에서 0%, Fe는 13%에서 100%로 연속적으로 변화하고 계면경사된 영역은 1.2mm부터 2.6mm였다.

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

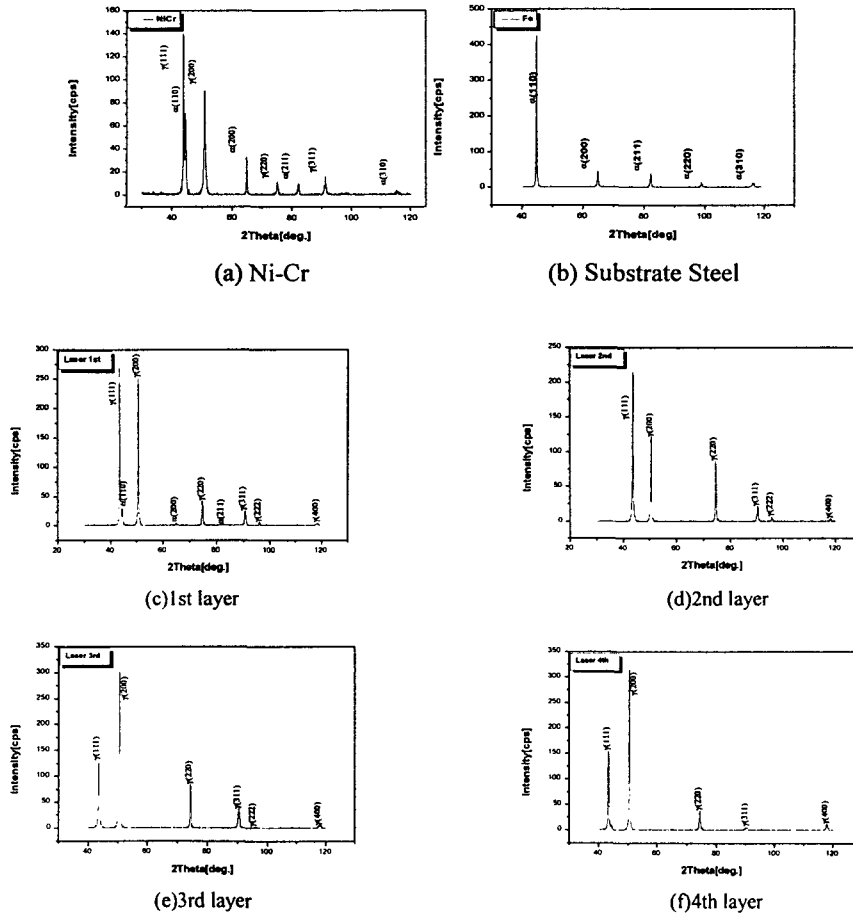


Fig. 3 XRD Analysis (a)Ni(50%)-Cr(50%) (b)Substrate (c)~(f)by laser beam

(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 레이저에 의해 제조된 GBM의 XRD분석결과로 1층에서는 α 상과 γ 상이 혼재되어 있는 상이 나타났으며, 2층부터 4층까지는 γ 상만이 관찰되었다.

Fig. 4는 미소경도 측정결과를 나타내었다.

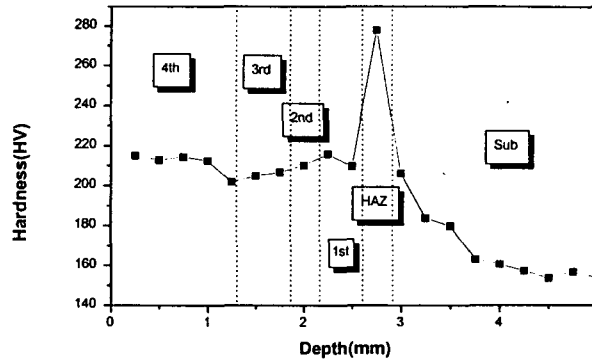


Fig. 4 Microhardness Profiles by laser beam

4th, 3rd, 2nd, 1st layer는 약 210Hv로 일정한 경도값을 보이다가 HAZ부위에서 280Hv로 증가한 후 모재에서 약 170Hv를 보였다. HAZ부위에서 경도값이 상승한 이유는 HAZ가 ferrite와 소량의 pearlite로 이루어져 있어, 급열시 austenite로 변태할 때 ferrite내로 확산할 충분한 시간을 갖지 못하므로 국부적으로 탄소함량이 높은 martensite변태가 이루어진 것으로 사료된다. 그러나 일반적인 martensite상의 경도 값보다 상대적으로 작은 값을 보이는데 이는 여러층의 합금층 형성을 위해 연속적으로 반복 조사한 레이저빔에 의해 Tempering 효과를 받아 연화된 것으로 사료되어 진다.

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

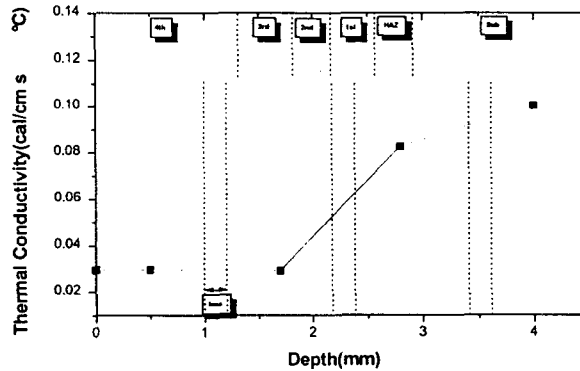


Fig. 5 Thermal Conductivity by laser beam

4th, 3rd, 2nd layer에서는 0.03cal/cm s^oC로 일정한 값을 보이다가 1st, HAZ로 갈수록 증가하여 모재에서는 0.1cal/cm s^oC이었다. 4th, 3rd, 2nd layer에서의 Thermal Conductivity 값이 1st, HAZ, 모재에서의 Thermal Conductivity 값보다 작은 이유는 4th, 3rd, 2nd layer가 γ 상으로 이루어졌기 때문이다. Austenite의 열팽창계수가 ferrite의 열팽창계수보다 크며 이 때문에 Austenite의 thermal conductivity는 ferrite의 thermal conductivity보다 작다.

IV. 결론

집중된 열원인 고출력 레이저빔에 의한 표면합금화 방법을 이용하여 계면경사 Ni(50%)-Cr(50%)/Steel 재료를 성공적으로 수행하였다. 약간의 crack은 있으나 전체적으로 pore가 없는 양호한 합금층이 형성되었으며 계면경사화된 합금층의 두께는 1.4mm였다. 표면으로부터 깊이방향으로의 조성변화와 thermal conductivity가 연속적으로 변화한 것으로 보아 국부적인 열응력 집중을 완화 시킬수 있을 것으로 사료된다. 만일 주사조건과 방법을 달리하면 원하는 합금층의 두께를 얻을수 있으며, 조성의 변화를 더욱더 점진적이고 연속적으로 하면 더욱더 양호한 계면경사재료를 얻을수 있을 것이다.

V. 참고문헌

1. P.Czubarow, D.Seyferth ; Journal of Materials Science 32(1997) p2121
2. Y.Itoh, M.Takahashi, H.Kashiwaya, H.Takano, N.Tachikawa, S.Adachi ; Nuclear Engineering(Japan), 37(1991) p59
3. G.W.Neetham ; Journal of Materials Science 26(1991) p853
4. 김도훈, 정재훈 : 대한금속학회지 35(4), p509-514, (1997)
5. 김도훈 : 레이저 가공학, 경문사, p235-252, (1996)
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