

Ni 박판을 이용한 Titanium/Steel 클래딩 플레이트 접합부의 미세구조 및 기계적 특성에 관한 연구

Microstructures and Mechanical Properties of Ti/Steel cladding plates with Ni Insert Metal

조규원*, 이창희*, 도정만**, 홍경태**, 변지영**

* 한양대학교

** 한국과학기술연구원

ABSTRACT

Ti/Steel 클래딩 판재를 제조하기 위하여 티타늄과 강판을 직접 접합하는 경우 접합 계면에 취성이 강한 금속간화합물 및 TiC 탄화물이 발생하여 계면접합강도를 저하시키는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 티타늄과 강판 사이에 니켈 박판을 삽입한 후 1223-1323K 온도구간에서 접합 실험하였다. 특히, 온도의 변화에 따라 티타늄과 강판의 계면에 발생하는 금속간화합물의 종류 및 반응층의 크기 변화에 따른 기계적 특성을 조사하였다.

1. 서 론

티타늄과 티타늄 클래딩 판재는 내열성, 내식성이 우수하며, 우수한 기계적 성질을 가지고 있어 우주·항공, 화학 공업등에 많이 사용되고 있다.

Ti/Steel 판재는 용융용접이 곤란한 구조용 재료로 사용되며, Ti/Al, Ti/Stainless steel¹⁾ 등의 철계가 많이 사용되고 있다. 니켈 박판을 삽입 금속으로 이용한 Ti/Steel 접합시 공정 온도 및 유지시간에 따라 Ti-Ni 평형상인 Ti₂Ni(F.C.C), TiNi, TiNi₃(H.C.P)^{2,3)} 이 나타나게되며, 냉각속도에 따라 Ti-Ni반응에서의 금속간 화합물의 변화⁴⁾가 발생한다. 또한 고온일수록 접합계면에 취성이 강한 TiFe, TiFe₂, TiC⁵⁾ 이 발생한다고 알려져 있다. 이러한 중간상의 생성 및 변태 거동은 온도, 시간, 열원에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 Ti-Ni 공정 온도에서 접합된 Ti/Steel 계면에서 액상의 분포에 따라 금속간 화합물의 변화와 기계적 특성과의 관계에 대하여 알아보았다.

2. 실험 방법

2.1 재료 준비

클래딩금속 Ti(Grade2)과 모재인 탄소강은 후판재(plate)로 니켈은 박판형태로 준비하였고, 시편

은 표면에 존재할 수 있는 불순물을 제거하기 위하여 diamond suspension(1 μ m)까지 연마 후 아세톤으로 시편 표면을 세척하였다.

2.2 접합조건 및 방법

실험에서 사용되는 티타늄은 고온 가열시 접합부 표면이 산화될 가능성이 높기 때문에 아르곤을 사용하였다. Fig.1 에 나타난 바와 같이 티타늄과 탄소강 사이에 박판 형태의 순수 니켈을 삽입하여 실험하였다. 티타늄과 니켈의 공정온도범위 조건에서(1223K~1323K)에서 5 $^{\circ}$ C/min의 승온속도로 실험하였고, 1223K, 1253K 두 조건에서는 각각 5h, 10h, 15h 에 대하여 유지시간을 가졌다. 또한, 1303K, 1323K에서는 5min 유지하였다.

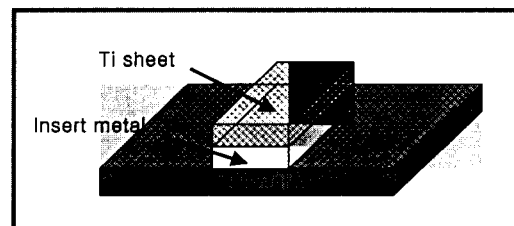


Fig.1 Schematic diagram for Ti/Steel cladding

2.2 분석 및 진단시험

접합된 시편 중앙을 절단하고, 연마한 후 실험 조건에 따라 준비된 시편의 접합 계면의 미세조직 및 반응층을 SEM으로 관찰하였고, 접합 계면에 형성된 금속간 화합물을 분석하기 위하여 EDS를 이용하여 정성 및 정량 분석을 하였다.

접합된 시편은 진단시험 및 경도기를 이용하여 기계적 특성을 조사하였고, 진단시험후 박리된 표면의 금속간 화합물의 성분을 조사하기 위하여 XRD분석을 하였으며, 균열의 시작 및 진행방향을 조사하기 위하여 광학현미경(OM)으로 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 미세조직 및 상분석

Fig.2 는 1223K, 1253K에서 각각 5h, 10h, 15h 을 유지한후 주사전자 현미경에 의한 조사된 금속간 화합물을 나타낸 것이다. Fig.3 에서 알수 있듯이 EDS 분석 결과 1223K, 5h에서는 Ti_2Ni , $TiNi$, $TiNi_3$ 금속간 화합물층이 생성되었고, 15h에서는 Ti_2Ni , $TiNi$ 반응층만이 존재하였다. 또한 유지시간이 길수록 $TiNi$ 층은 감소하고, Ti_2Ni 층의 두께는 증가되었다. 1253K, 5h에서는 Ti_2Ni 층만 존재하였다.

1223K, 1253K 모두 반응시간이 더 길어지면 액상의 Ti_2Ni 층의 폭이 줄어들었으나 1303K 이상에서는 Ti_2Ni 액상폭이 늘어났다. 1323K에서는 Ti-Ni 반응층에서 티타늄모재 내부로 많은 양의 니켈이 이동하여 $Ti-Fe^{(6)}$ 계가 반응하여 $TiFe$ 금속간 화합물이 나타남을 알수 있었다.

Ti-Ni 공정온도에서 실험한 후 반응층의 변태조직을 확인한 결과 티타늄모재는 βTi 초정이나 나타났고 냉각시 αTi 로 변태함을 알수 있었고, 1038K에서는 $\beta Ti \rightarrow \beta Ti + Ti_2Ni$, 1038K 이하에서 $\beta Ti \rightarrow \alpha Ti + Ti_2Ni$ 로 변태함을 볼수있었다. 반응층 Ti_2Ni 에서는 $L + \beta Ti$ 가 공정온도에서 나타났으며, 1215K에서 $L \rightarrow Ti_2Ni + \beta Ti$, 1038K에서는 $\beta Ti \rightarrow Ti_2Ni + \alpha Ti$ 로 변태됨을 확인하였다. 냉각 후 티타늄모재는 초정티나늄과 공석분해된 $\alpha Ti + Ti_2Ni$ 층상조직으로 존재하였고, Ti-Ni 반응층 Ti_2Ni 내부에는 $\alpha Ti + Ti_2Ni$ 가 고용된 있음을 확인하였다. 따라서, Ti/Steel 접합시 접합 온도의 변화에 따라 액상의 폭 및 금속간 화합물의

성분 변화, 냉각시 모재 및 반응층의 변태된 상 및 고용양의 변화가 나타난다.

3.2 기계적 특성 분석

Ti/Steel접합시 Ti-Ni 공정반응에 의해 형성된 금속간 화합물에 대하여 미소경도를 측정된 결과 Ti_2Ni 의 경도가 가장 높았으며, 1323K 시험에서

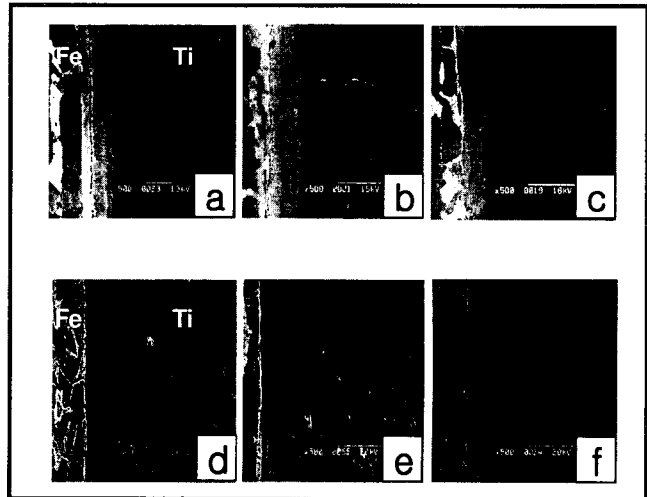


Fig.2 SEM microstructures of Ti/Steel reaction layer after heated at 1223K for; (a) 5h (b) 10h (c) 15h ; at 1253K for : (d) 5h (e) 10h (f) 15h

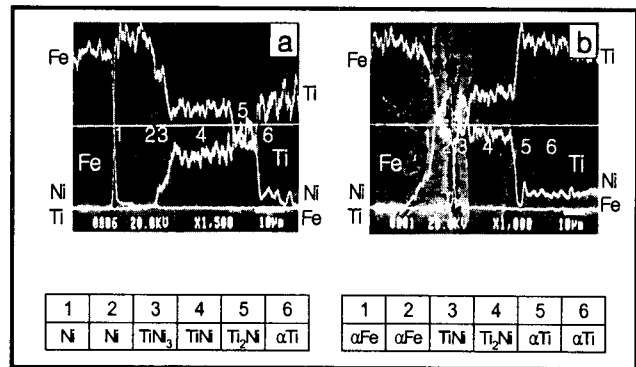


Fig.3 EDS line profiles of Ti/Steel reaction layer at 1223K for (a) 5h (b) 15h

나타난 $TiFe$ 반응층은 경도 값이 낮게 나타남을 확인할 수 있었고, Fig.4 에서 볼수 있듯이 진단 시험한 결과 1323K 온도보다 1303K에서 실험한 것이 더 높은 진단 강도를 나타냈다.

또한, Fig.5 는 진단 시험후 파단된 티타늄면을 SEM 으로 조사한 결과다. 저온에서는 Ti/Steel 계면의 접합부가 균일하게 접합되지 않았고, 또한 Kirkendall void 에 의하여 crack이 발생하였다. 1303K에서 파단된 층은 $\alpha Ti/Ti_2Ni$ 계면이며,

Ti₂Ni 반응층 내부를 통하여 균열은 Ti₂Ni/Ti 반응층까지 진행됨을 확인하였다. 1323K에서 파단된 Ti/Steel 계면을 분석한 결과 취성이 강한 TiFe 반응층이 형성되었으며, αTi+TiFe/Ti₂Ni 반응층 사이에서 박리됨을 확인할수 있었다. 따라서, Ti-Ni 공정반응 실험에서 Ti/Steel 접합시 높은 접합 강도를 가지기 위해서, 취성이 강한 금속간 화합물 및 TiC 발생을 방지하여여 할 것이다.

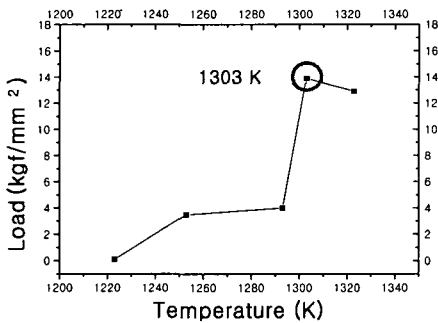


Fig.4 Shear test results of Ti/Steel plates

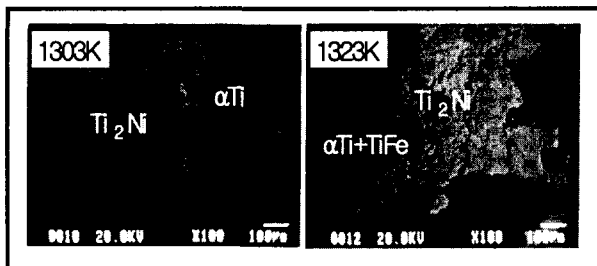


Fig.5 SEM microsturctures in fractured surface of Ti side at 1303K, 1323K

4. 결 론

Ti-Ni 공정 반응 온도에서 접합한 Ti/Steel 판재는 금속간 화합물 Ti₂Ni, TiNi, TiNi₃ 층이 생성됨을 알수 있었고, 공정 온도 1215K 보다 높은 온도에서 실험한 결과 액상의 분포 및 온도에 따라 금속간 화합물의 성장 및 소멸함을 알수 있었다. 온도와 시간의 변화에 따라 접합된 Ti/Steel 클래딩 판재는 생성된 금속간 화합물과 반응층의 두께에 따라 기계적 특성이 변화하는 것을 알수 있었다.

1)1223K에서 holding time 의 변화에 따라 금속간 화합물 및 반응층이 변화함을 확인할수 있었고, 1253K에서는 1223K온도에서 형성된TiNi,

TiNi₃ 금속간 화합물이 생성되지 않음을 알수 있었다.

2)접합 온도가 증가함에 따라 Ti/Steel 계면에 발생한 액상양의 폭이 증가 함에 따라 티타늄과 반응한 니켈은 티타늄의 모재안으로 계속 확산해 들어가, 냉각시 Ti₂Ni+αTi의 층상구조를 형성하였으며, 1323K에서 접합시 티타늄은 탄소강 모재 쪽으로 확산되어 Ti/Steel 계면에 취성이 강한 TiFe 금속간 화합물을 생성하였다.

3)온도와 시간에 따라 생성된 금속간 화합물에 대하여 미소경도를 측정 한 결과 TiFe가 경도값이 가장 낮으며 Ti₂Ni는 FeTi의 값의 약 3배가 높음을 알수 있었다. 또한 전단 시험한 결과 1323K 보다 1303K에서 더 높은 기계적 특성을 확인하였으며, 박리된 시편을 분석해본 결과 1303K에서는 αTi/Ti₂Ni에서, 1323K에서는 FeTi/Ti₂Ni에서 박리됨을 알수 있었다. 따라서, 1303K에서 더 높은 기계적 특성을 갖는 이유는 1323K에서 형성된 취성이 강한 TiFe금속간 화합물층이 생성되지 않았기 때문이다.

참고문헌

1. T.B.Massalski, "Binary alloy phase diagrams, 2nd ed." Vol.3 p.2974.
2. G.F.Bastin, and G.D.Rieck, Metall. Trans. Vol.5(1974) p.1817
3. G.F.Bastin, and G.D.Rieck. Metall. Trans. Vol.5(1974) p.1827
4. M.Igharo,J.V.Wood, "Consolidation of rapidly solidified Ti-Ni intermetallics" Power Metallurgy Vol.29(1986) No.1 p.37
5. A.Chiba, M.Nishida, "Bonding characteristics and diffusion barrier effect of the TiC Phase formed at the bonding interface in an explosively welded Ti/high-carbon steel clad" Journal of Phase Equilibria. Vol.16(1995) No.5 p.411
6. T.Yamane, K.Hisayuki, "Partial Ti-Fe alloy phase diagrams at high pressure" J. Mater. Scie. Letters. Vol.19(2000) p. 929