

폭발접합 공정변수가 Fe-Ti 계면조직에 미치는 영향에 관한 연구 An Experimental Study of The Effects of Explosive Welding Parameters on the Fe-Ti Interface Structure

백영남*, 장영권**, 송병관***, 석진****

* Mechanical Engineering Dept., Kyunghee University, 449-701, Korea

** Tech. Supervision Dept., Korea Testing Lab., Seoul 152-053, Korea

*** Mechanical Engineering Dept., Kyunghee University, 449-701, Korea

**** Mechanical Engineering Dept., Kyunghee University, 449-701, Korea

1. 서론

폭발접합 방법은 폭약의 폭발 시 발생하는 높은 압력과 폭발에너지에 의해 금속을 접합시키는 방법으로 폭발물을 사용한다는 접합공정의 특수성이 있지만 다른 접합법에 비해 접합면의 강도가 매우 우수하며 모든 이종 금속의 쌍도 접합이 가능하다는 잇점이 있다. 따라서 다양한 접합재의 선택과 높은 접합 강도를 갖는 폭발접합법은 부식의 문제가 심각하게 고려되는 선박산업, 화학공업, 정련 공정, 원자로 등과 같은 고온, 고압 용기 또는 열교환기 등의 각종 복합기능재료 그리고 경량화를 필요로 하는 우주공학에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다. 최근 우리 나라에서도 폭발접합에 대한 실용화 기술이 현장에 적용되고 있으며 폭발접합소재는 다양한 형태의 소재 수요에 충분히 부응할 수 있는 고부가가치의 소재임에 틀림없음이 밝혀지고 있다. 본 연구에서는 첨단소재로서의 적용성이 매우 큰 titanium과 steel을 접합소재로 선택하여 접합공정의 주요 변수인 폭약량 및 이격거리(stand-off distance)의 변화에 따른 접합계면의 형태와 접합계면의 특성변화 및 미세구조 변화 등을 분석하고 접합메커니즘을 실험적으로 확인하고자 하였다.

2. 시험편 제작 및 실험방법

실험을 위한 접합시료의 모재(parent plate)는 320×320×36mm크기의 구조용 탄소강(SS400)을 부재(flyer plate)는 모재보다 다소 넓은 350×350×3mm크기의 titanium(ASM B265 Gr.1)을 사용하였다. 부재와 모재를 일정한 거리(stand-off distance)로 평행하게 배열하는 평행법(parallel arrangement)으로 Fe-Ti 시험편을 제작하였다. 접합시료 제작을 위해 사용된 모재 및 부재의 화학 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2에 나타내었고 폭발접합 조건은 Table 3과 같다.

	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Pb	Fe	Zn	Sn	O	H	Ti	N
Base Plate(SS400)	0.21	0.72	0.22	0.02	0.04	0.20	0.08	-	98.5	-	-	-	-	-	-
Plyer Plate (ASTM B265 Gr.1)	0.03	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	0.06	0.007	99.9	0.01

Table 1 Chemical compositions of flyer plate and parent plate

	Ultimate Tensile Strength(Mpa)	0.2% Yield Strength(Mpa)	Elongation(%)
Base Plate(SS400)	400	235	21
Flyer Plate (ASTM B265 Gr.1)	343	230	40

Table 2 Mechanical properties of flyer plate and parent plate

	폭약충진높이 (Explosive thickness)	폭발속도 (Explosive velocity)	폭약밀도 (Explosive density)	이격거리 (Stand-off distance)
A	27mm	1950m/sec	1.3	4.0mm
B	35mm	2250m/sec	1.3	4.0mm
C-1	27mm	1950m/sec	1.3	4.0mm
C-2	27mm	2050m/sec	1.3	5.5mm
C-3	27mm	2132m/sec	1.3	7.0mm

Table 3 Explosive welding parameters

본 실험에서의 폭약은 국내 H사에서 생산하여 시판되고 있는 초안(Ammonium Nitrate ; AN)을 사용하였다. Jeol사의 SEM을 사용하여 계면형태와 계면에서 관찰되는 용융대 및 계면의 특이성을 관찰하고 WDX 및 전자 미소분석기(EPMA)를 사용하여 계면에서의 조성변화에 대한 정성, 정량적인 분석을 수행하고 계면경도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 공정변수에 따른 계면형태의 변화

Fig. 1은 이격거리 및 폭약 충진높이에 따라 폭발접합된 계면의 파형 형태이다. 폭발접합 공정변수에 따른 계면의 특징들을 볼 수 있는데 이는 충격에너지의 양에 따라 달라진다.

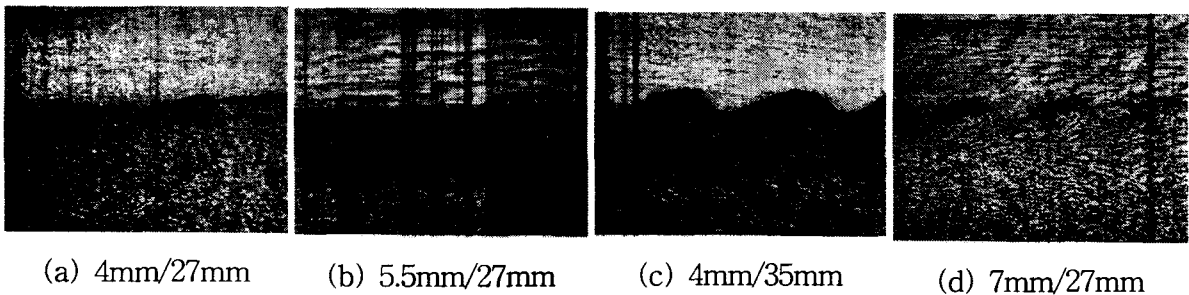


Fig. 1 Optical micrograph showing wave size variation according to different explosive welding parameters(stand-off distance/explosive thickness) $\times 50$

3-2 공정변수에 따른 계면 파형크기 변화

접합조건이 다른 각 시험편의 파형 크기를 파형 높이와 파장으로 구분하여 측정한 결과를 Fig. 2-1, 2-2에 나타내었다. 파형 크기의 변화는 어느 한계까지는 충격에너지의 크기에 따라 wave의 크기가 증가하며 접합되지만 어느 한계를 넘어섰을 때는 이격거리를 증가시켜도 wave의 크기는 오히려 감소함을 알 수 있었다.

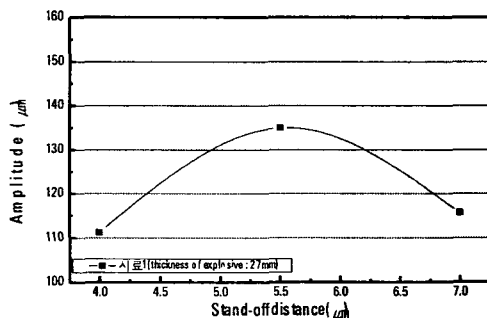


Fig. 2-1 Wave amplitude variation according to stand-off distance

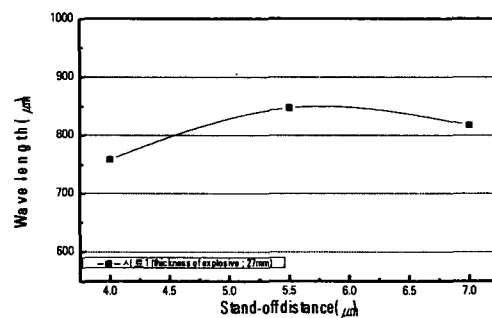


Fig. 2-2 Wave length variation according to stand-off distance

3-3 공정변수에 따른 미세조직 변화

폭발접합 후 접합계면 근처 모재(Fe)의 미세조직과 접합전 모재의 미세조직을 현미경사진으로 관찰한 결과 계면의 조직의 변화를 알 수 있었다. 폭발접합 전후의 조직의 크기 변화에 의해 폭발접합 시 계면의 온도가 탄소강의 재결정온도 이상까지 상승되었을 것으로 예측할 수 있었다. 폭약충진량 및 이격거리 변화에 의한 부재(Ti)의 미세조직을 관찰한 결과 α -Ti입자와 β -Ti입자를 볼 수 있었다. 계면 파형 부근에서는 모재(Fe)가 충격에너지에 의해 소성변형된 형태를 확인할 수 있었다. 계면 근처의 결정은 계면쪽으로 근접할수록 충격에너지에 의한 elasto-plastic 변형에 의해 ferrite 및 pearlite의 이동형태를 확인할 수 있어 폭발접합 시 유동의 형태를 확인할 수 있다.

3-4 계면 성분분석 결과

접합계면에 대한 SEM 사진으로 사진에 나타난 위치에 대한 WDX분석을 행한 결과, 부재인 Ti영역에서 검출된 Fe양과 모재인 Fe영역에서 검출된 Ti의 양은 미량이며 접합계면(Ti부분)에서는 Fe와 Ti가 동등한 비율로 검출되어 계면의 접합재는 두 재료간의 혼합조직(intermetallic compound)이 생성됨을 추측할 수 있었다. 또한 두 금속의 폭발접합 시 확산여부 및 정도를 확인하기 위하여 실시한 EPMA 분석 결과 Fe가 Ti로 확산되었음을 확인하였고 확산층의 두께는 15~20 μ m 정도였다. 그러나 Ti의 Fe로의 확산은 없는 것으로 확인되어 폭발접합은 고상접합이라고 판단되어진다.

3-5 공정변수가 계면경도에 미치는 영향

접합계면에서 모재 및 부재방향으로 0.1mm간격으로 미세경도를 측정하여 그 결과를 Fig 3-1 및 3-2에 나타내었다. 경도시험결과에서 보는 바와 같이 접합전 모재의 경도 152Hv, 부재 경도 196Hv 보다 증가하며 폭발접합에 의한 소성변형으로 계면근처에서는 최대 320Hv 정도까지 증가하며 알 수 있는데 이러한 결과는 접합공정변화에 따른 계면파형의 크기 및 미세조직분석 결과와 정성적으로 같은 결과이다. 경도의 증가는 가공경화 및 결정의 부분적인 성장에 의하며 따라서 접합계면간에는 상당한 잔류응력이 존재할 수 있음이 예측된다.

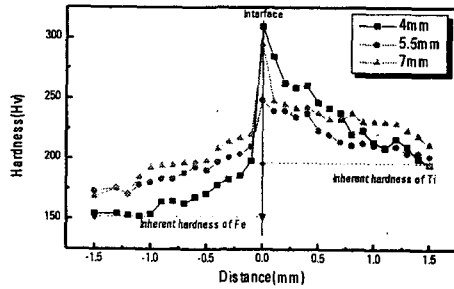


Fig. 3-1 Vickers micro hardness variation as a function of stand-off distance

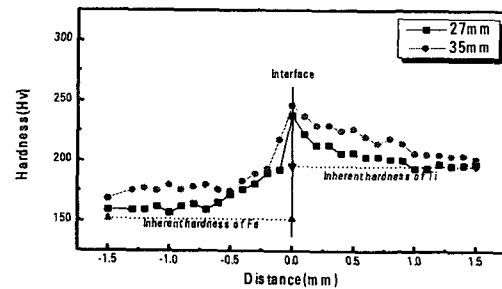


Fig. 3-2 Vickers micro hardness variation as a function of explosive thickness

4. 결론

폭발접합 공정변수가 Fe-Ti 계면에 미치는 영향을 분석하기 위해 계면의 형태, 미세조직분석, 성분분석 및 미소경도변화 등을 관찰한 결과 얻은 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 폭발접합 공정변수 중 접합계면의 특성변화에 미치는 영향은 이격거리 변화에 의한 영향이 폭약 충진높이에 의한 것보다 큰 것으로 확인되어 폭발접합 공정변수 선정에 이격거리 관리가 중요하다.
- 2) Fe-Ti 접합계면 근처는 미세조직 관찰결과 폭발접합 시 상승온도는 약 900 $^{\circ}$ C 정도로 예측되며 Fe는 결정의 성장 및 소성변형이 되고 Ti는 동소변태가 됨을 확인하였고 계면 근처의 미세조직은 충격에너지와 수직방향으로 평행한 쌍정이 확인된다.

- 3) 접합계면의 성분분석결과 두 재료간에는 미세한 확산이 확인되었으나 Fe-Ti금속의 폭발접합은 고상접합 메커니즘으로 볼 수 있다.
- 4) 두 재료간의 폭발접합에 의한 이종금속 접합성분은 TiFe나 TiFe₂로 예측되나 정확한 확인은 실시하지 못하였다.
- 5) 접합계면에서의 미소경도 증가는 충격 에너지에 의한 가공경화와 결정크기 변화 등 복합적인 원인으로 판단되며, 이와 같은 이유로 접합계면에서 상당한 잔류응력이 분포될 것으로 추측되어 이를 기계적 특성 평가 시 고려해야 할 것이다.

5. 후 기

본 연구의 시료제작에 도움을 주신 (주)한화 관계자분들께 깊은 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. S. H. Carpenter and R. H. Wittman : "Annual review of metals", (1975), pp 177
2. J.A.Yoblin, J.D.Mote and L.E.Jensen : "Explosive Welding and Cladding-Overview of the Process and Selected Application.", Advances in Joining Tech., Brod Hill Publishing co.,(1976)
3. 강봉용, 김희진 : 폭발접합의 원리와 특성, 대한용접학회지, 제 11권(1993), 제3호
4. 성상철, 심상한, 이병일 : 폭발접합의 원리와 응용, 대한용접학회지, 제15권(1997), 제6호
5. 김희진, 강봉용 : 폭약 살높이에 따른 Al/Steel 폭발접합 계면의 형상 및 조직변화에 관한 연구, 대한용접학회지, 제14권(1996), 제4호, pp. 233-241.
6. 대한용접학회 : 용접 · 접합편람, (1998) pp. 676~678.
7. Crossland, B., "Explosive Welding of Metals and Its Application", pp. 40, Clarendon Press, (1982) pp. 84~106
8. Univ. of Denver : Principles and practies of explosive metal working, (1973) Vol.1 pp. 173~192.
9. G. R. Cowan and A. H. Holtzman : J. Appl. Phys., 34 (1963) pp. 928.
10. A. S. Bahrani, T. J. Black, B. Crossland : Proc. Roy. Soc., A296 (1967)
11. Z. Livne, A. Muniz : J. Mater. Sci., 22 (1987) pp. 1495.