

폭발 접합된 이종금속 접합계면의 초음파탐상 판정레벨 설정에 관한 연구
Ultrasonic Test Criterion for the Explosively Welded
Fe-Naval Brass Bonding quality

장 영권*, 백 영남**

*산업기술시험원 기술감리본부

**경희대학교 기계공학과

1. 서론

이종금속의 접합부는 금속의 조직적, 물리적 특성 차에 의한 불연속 및 균열 등이 발생하여 품질에 결정적 영향을 미치며¹⁻⁶⁾, 관련업계도 이종금속 접합부의 품질평가에 대한 기술 수요 증가에 따라 접합계면의 품질평가 방법으로 초음파탐상검사 방법이 가장 유용하게 적용되고 있다. 클래드강(용접 및 폭발접합에 의한 이종금속의 접합강재)의 초음파탐상시험 방법 및 요건은 한국 산업규격의 경우 KS B 0234-92⁷⁾ "클래드강의 시험방법" 및 ASTM 의 사각 초음파탐상은 ASTM A577/A577M-90⁸⁾, 수직탐상의 경우 ASTM A578/ A578M-90⁹⁾의 시험방법에 따른다. 그러나 이런 규격에 따른 초음파탐상 방법은 주로 저면반사신호 높이를 기준으로 탐상감도를 설정하고 저면반사신호 높이 감소 정도를 기준으로 판정함으로써 시험재료의 음향임피던스 차에 따른 계면 반사특성 및 초음파 감쇄 특성을 충분히 고려하지 못하고 다양한 접합재료에 적용하기 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 폭발접합에 의하여 Fe-Naval brass 이종금속 접합시료를 제작하고 접합재료의 물리적 특성인 음향특성 즉 초음파 감쇄 및 반사계수를 고려한 탐상감도를 이론적으로 계산하여 계면반사 음압의 크기를 설정하고 실제 폭발접합 계면에 대해 초음파탐상을 실시하여 관련 KS 및 ASTM규격 방법에 의한 초음파탐상 결과와 비교 검토하여 이론적인 탐상감도 설정법(TUALM : theoretical ultrasonic amplitude level method)의 실용 가능성을 검토하였다.

2. 시험편 제작 및 실험 방법

폭발 접합된 이종금속 계면의 접합품질 및 접합계면을 평가하기 위한 모재(Base plate)는 900×1,600×15mm 크기의 구조용 탄소강(SS400)을, 부재(Flyer plate)는 모재보다 다소 넓은 1,000×1,800×5mm 크기의 Naval brass를 선정하여 폭발접합을 실시하였다. 폭발접합을 위한 접합공정변수는 Table 1과 같다.

Table 1 Explosive welding conditions

Specimen No.	Stand off distance (mm)	Explosive charge height(mm)
1	1.5	35
2	2.8	35
3	4.0	35

모재(15t) 및 부재(5t)의 속도 및 감쇄계수 측정 및 폭발 접합된 계면의 초음파탐상실험을 위해 사용한 장비의 Table 2와 같다.

Table 2 Ultrasonic system specifications

Instruments	Specification(model)	Remarks
Method	Pulse echo Method	
Pulser/Receiver	Panametrics 5052 PR	
Transducer	Nominal Frq. : 5MHz, Siz : 1/4" Dia	Center Frq. : 4.8MHz Band width : 0.35MHz
Couplant	Glycerin	
Oscilloscope	Tektronix TDS 420	

모재 및 부재에서 각각 수직탐상으로 펄스에코법에 의해 다중의 저면 신호를 얻고 저면 신호간의 초음파 전달속도, 재료 밀도를 고려하여 각 재료의 음향임피던스(Acoustic impedance)를 구하고 반사신호 높이를 측정하여 각 재료의 감쇄계수(Attenuation coefficient)를 측정하였다. 폭발접합된 시험편의 계면품질 평가를 위한 접합계면에서 음압 반사율과 음압 투과율은 밀착하고 있는 2개의 물질의 음향임피던스(Acoustic impedance)에 의해 결정되므로 모재 및 부재에서 측정된 각각의 감쇄계수와 음향임피던스 차에 의한 계면 반사에신호 높이비를 얻어 이중금속 접합 계면의 접합품질 판정 기준으로 정하였다. 또한 KS B 0234-92 및 ASTM A 578에 제시된 시험방법으로 탐상하여 각 방법을 비교, 검토하고 시험편의 접합부는 주사전자현미경으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 모재 및 부재의 음향특성 및 접합계면 반사신호크기

Table 3는 폭발접합전 모재 및 부재에 대하여 5MHz 상용주파수 수직탐촉자를 사용하여 얻은 RF 신호로부터 측정된 모재 및 부재의 음향특성이다.

Table 3 Measured ultrasonic properties

Material	Longitudinal wave velocity(m/sec)	Acoustic impedance (g/cm ² -sec)	Attenuation coefficient - α (at 5MHz)
Base plate	5,850	4.56×10^6	0.055
Plyer plate	4,430	3.61×10^6	0.102

폭발접합시료의 초음파탐상시 초음파 진행경로를 따라 이론적¹⁰⁾으로 예측된 신호의 위치 및 진폭은 Table 4에 나타내었다. 따라서 폭발접합된 시험편을 수직 초음파 탐상할 때 첫 번째 저면도달 신호의 음압이 CRT상의 100%가 되도록 탐상감도(Reference level)를 조절하면 접합이 잘된 시험편의 모재 및 부재의 음향특성 차에 의한 첫번째 계면 반사신호 높이는 20.6% 이하가 될 것이므로 이 진폭을 접합부의 합부판정 기준으로 정할 수 있다.

Table 4 Calculated sound pressure and reference amplitude according to sound beam path in explosively welded Fe-naval brass bimetal

Locations	Beam path (mm)	Calculated sound pressure(%)	Ref. amplitude(%)	Remarks
1번째계면도달(I1)	15.42	42.81	-	
1번째계면반사(R1)	15.42	4.98	20.60	
1번째계면투과(T1)	15.42	35.96	-	
첫번째저면도달(B1)	19.27	24.17	100	기준감도
2번째계면도달	23.12	18.32(16.32)	-	

3.2 음향특성을 고려한 수직 초음파탐상 결과

Fig. 1은 폭발접합 시험편 번호 1에서 얻은 대표적인 A-Scan 파형으로 이론적인 감도설정에서 1차 저면반사신호(B1)를 FSH의 100%에 탐상감도를 설정할 때 1차 접합계면 반사신호 높이는 20.6% 보다 큰 39%로 접합계면의 접합불량으로 평가할 수 있고 시험편번호 2 및 3에서 얻은 접합계면 반사신호 높이는 13.5%로 접합상태는 양호한 것으로 평가된다. Fig. 3의 초음파 신호는 접합계면의 미접합에 의해 계면반사신호 높이는 증가하고 저면반사신호가 저하됨을 확인할 수 있다. Fig. 4는 Stand-off distance가 가장 적은 1번 시험편의 단면형태로 폭발접합 조건에서 충진화약량 또는 Stand-off distance가 부족하여 충분한 충돌에너지를 얻지 못함으로써 폭발접합에서 발생하는 계면 파동이 발생하지 못하였다. 그러나 Fig. 5 및 Fig. 6의 시험편 번호 2 및 3은 충분한 접합조건으로 폭발접합에서 발생하는 전형적인 계면접합 파형^{11,12)}을 확인할 수 있으며, Fig. 5 및 Fig. 6을 비교할 때 폭발에너지 증가에 따라 접합계면의 파형 크기가 증가함이 확인되었다.

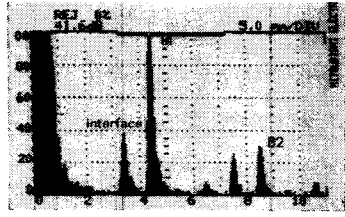


Fig. 1 A-Scan signal pattern acquired from the poor bonded sample #1(Ref. Fig. 4)

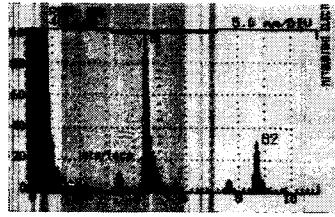


Fig. 2 A-Scan signal pattern acquired from the good bonded sample #2&3(Ref. Fig. 5, 6)

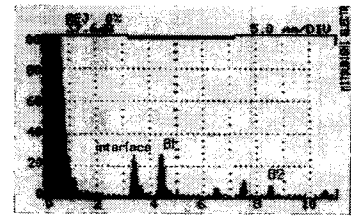


Fig. 3 A-Scan signal pattern acquired from interface lamination(Ref. Fig. 7)

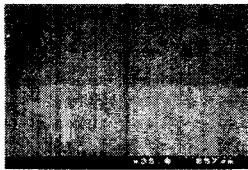


Fig. 4 SEM micrograph of cross section of the sample #1(no wavy interface)

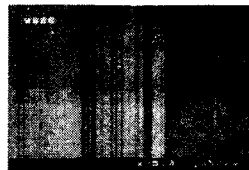


Fig. 5 SEM micrograph of cross section of the sample #2 (wavy interface)

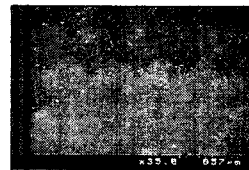


Fig. 6 SEM micrograph of cross section of the sample #3 (wavy interface)

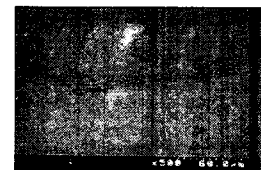


Fig. 7 SEM micrograph cross section of the interface delamination area

초음파가 시험편에 입사시 계면반사신호 크기와 계면의 파형의 크기와의 관계를 알아보기 위하여 각 시험편 계면의 파형 크기를 주사전자현미경으로 관찰하여 측정하고 초음파탐상결과 확인된 접합계면의 반사신호 높이와의 관계를 Fig. 8에 나타내었다.

3.3 접합 부재의 두께비에 따른 계면반사신호 크기변화

본 실험에서 수행한 부재(5t)/모재(15t) 두께비는 33%이다. 실험을 수행한 접합재의 부재/모재의 두께비가 다를 경우 초음파탐상을 위한 접합 계면의 판정기준설정을 위하여 부재/모재 두께 비를 0.25~0.75까지 변화시켜 첫 번째 저면반사신호 높이가 100% FSH가 될 때 계면반사신호 높이를 Fig. 9 나타내었다.

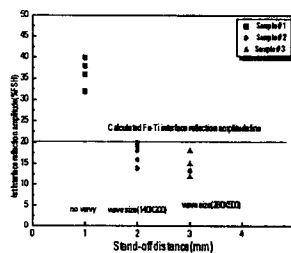


Fig. 8 Fe-Naval brass interface reflected amplitude according to the explosive welding condition

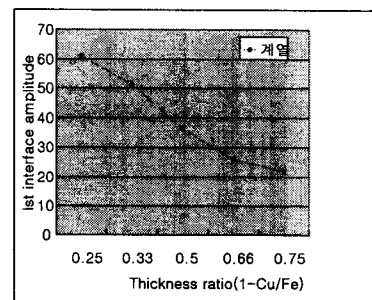


Fig. 9 Calculated Fe-Cu interface amplitude according to the clad thickness ratio

3.4 KS B 0234 및 ASTM A578 시험방법에 의한 초음파탐상 결과 및 비교

각 조건별로 제작된 폭발접합 시험편을 KS B 0234 및 ASTM A578 에 따라 탐상감도를 설정하여 초음파탐상시험을 실시하고 각 방법에 따라 폭발접합시험편의 접합계면 품질을 평가, 비교하여 얻은 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Ultrasonic test results according to the KS, ASTM and TUALM

Sample	KS B 0234	ASTM A 578	TUALM	Remarks
1	Acceptable	Acceptable	Unacceptable	
2	Acceptable	Acceptable	Acceptable	
3	Acceptable	Acceptable	Acceptable	

폭발접합 계면의 접합품질 평가를 위한 초음파탐상 결과는 KS B 0234와 ASTM A578 규격에 의한 탐상방법과 판정결과가 유사하나 본 연구에서 제안하는 접합재료의 음향특성과 접합계면에서의 반사에너지 비를 고려한 방법(TUALM)이 보다 엄격한 평가 결과로 확인되었다.

4. 결론

구조용 탄소강판에 Naval Brass를 폭발압접(Explosive weld)방법으로 cladding한 이종금속 접합재의 접합계면 품질평가를 위해 음향임피던스를 고려한 탐상감도 설정 방법을 제시하고, 제시된 시험방법과 KS B0234 및 ASTM A578의 이종금속의 초음파탐상시험 방법을 비교 고찰한 결과는 다음과 같다.

- 1) 초음파 감쇄 및 반사이론을 도입하여 판정기준을 정하여 폭발접합 계면 품질평가가 가능하였다.
- 2) 본 연구방법에 의한 접합계면 평가방법이 한국 산업 규격 “KS B0234” 및 “ASTM A578” 규격에 의한 평가방법보다 엄격하다.
- 3) 본 연구에서 제시된 방법으로 이종금속 접합재료별 초음파특성을 측정하고 감쇄 및 반사특성을 고려한 계면의 반사음압을 예측하여 타당한 탐상감도를 설정할 수 있으며, 접합재질이 다른 접합 조건의 경우도 같은 방법으로 접합계면 평가가 가능하리라고 판단되나 이에 대한 추가적인 보완 연구가 필요하다.

후 기

본 연구를 위해 시료제작을 지원해 주신 (주)한화에 감사드립니다.

참고문헌

1. B.crossland and A. S. Bahrani : "Fundamentals of Explosive Welding." Contemporary Physics, Jan. (1968)
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 살포이에 따른 Al/Steel 폭발접합 계면의 형상 및 조직변화에 관한 연구, 대한용접학회지, 제14권(1996), 제4호, pp. 233-241
6. 문정기 : 이종재료의 폭발압접에 관한 연구, 홍익대학교 박사학위논문(1992)
7. 한국산업규격 : "KS D 0234 클래드강의 시험방법" (1992)
8. ASTM A577/A577M-90 : "Standard Specification for Ultrasonic Angle-Beam Examination of Steel Plates."
9. ASTM A578/A578M-90 : "Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Plain Clad Steel Plates for Special Applications"
10. Dale ensminger : "Ultrasonics." 2nd. Ed. Marcer Dekker, Inc. New York
11. A. Pocalyko : "Fabrication of Explosive-Welded Titanium-Clad Composites" Welding Journal, Jan.(1976)
12. Steve H. Carpenter and Robert H. Wittman : "Recent Developments in Theory and Application of Explosive Welding." SME Technical Paper No. MF 74-819(1974)