



초음파법에 의한 폭발접합 이종금속 접합품질 판정레벨 설정에 관한 연구

장영권* · 백영남**

* 산업기술시험원(KTL)

** 경희대학교 기계공학과

Ultrasonic Test Criterion for the Explosively Welded Fe-Naval Brass Bonding Quality

Young Kwon Chang* and Young Nam Paik**

*Tech. Supervision Center, Korea Testing Lab.(KTL), 152-053 seoul, Korea

** Mechanical Engineering Dep., Kyunghee University, 449-701 Kyunggi, Korea

Abstract

An ultrasonic test method, as a nondestructive test is applied to ensure the clad interface quality assessment. According to the reference codes and standards, not only Korea Industrial Standard(KS) but also American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard, ultrasonic examination procedures use the pulse-echo, A-scan, back reflection signal drop method and/or side drilled reference hole used to establish the acceptance criteria of clad material test. But the variety of bonding materials and sizes makes it difficult to produce the reference blocks, or thus the criteria. In order to overcome these practical difficulties, new ultrasonic testing criterion is suggested. In this new method, the theoretical interface reflection signal amplitude level is calculated and suggested as an acceptance criteria with the back reflection signal set to 100% FSH(Full Screen Height), which is based on acoustic impedance mismatch at the clad interface for the explosive clad ultrasonic inspection.

Applicability of suggested criterion, for the explosive clad Fe-Naval Brass with different bonding quality is confirmed to the pre-existed KS and ASTM specifications and verified by using SEM (Scanning Electron Microscope) micrograph.

The results obtained by the suggested method is more conservative than the results according to the KS B 0234 and ASTM A 578 specifications. The suggested method could be applicable to any other combination of explosive clad ultrasonic inspection.

(Received March 23, 2000)

Key Words : Bimetal, Bonding, Cladding, Interface, Explosive weld, Acoustic impedance, Acoustic reflection coefficient, Ultrasonic velocity, Attenuation coefficient

1. 서 론

산업용 재료는 그 특성이 한정되며 복합적인 재료 특성이 요구되는 경우는 복합재료를 제조하여 사용하게 된다. 금속재료의 경우 금속학적 특성 및 경제성 등에 따라 합금을 사용하기보다는 이종금속을 접합함으로써 요구되는 금속특성 및 경제성을 만족하게 얻을 수 있다. 특히 원자력 압력용기, 화학용 교반기 등은 사용

강도, 열전도 및 화학적 부식특성을 고려하여 특성이 다른 금속을 폭발압접^{1,2)} 또는 용접 접합하여 사용하게 되며 이러한 이종금속 접합 및 용접기술이 최근 많이 연구³⁻⁶⁾ 되고 있다.

이종금속의 접합부는 금속의 조직적, 물리적 특성 차에 의한 불연속 및 균열 등이 발생하여 품질에 결정적 영향을 미치며, 관련업계도 이종금속 접합부의 품질평가에 대한 기술 수요가 증가하고 있으며, 접합계면의 품질평가 방법으로는 비파괴시험 방법을 주로 적용하

게 되는데 현재 적용되는 비파괴시험 방법중 초음파법이 가장 유용하게 적용되고 있다.

일반적으로 클래드강(용접 및 폭발접합에 의한 이종금속의 접합강재)의 시험 방법 및 요건을 규정한 규격은 Table 1과 같이 한국 산업규격의 경우 KS B 0234-92⁷⁾ "클래드강의 시험방법" 및 ASTM 규격은 각 클래드 재료에 따라 B 432⁸⁾, A264⁹⁾, A263¹⁰⁾ 등으로 분류되어 있다. 각 규격은 모재 및 부재의 성분분석, 접합후 굽힘시험, 인장시험, 전단시험 등의 기계적 시험 및 비파괴시험 요건에 대하여 규정하고 있으며, ASTM의 각 접합 재료별 규격의 비파괴시험 방법은 사각탐상의 경우 ASTM A577/A577M-90¹¹⁾, 수직탐상의 경우 ASTM A578/ A578M-90¹²⁾의 시험방법 및 합부 판정기준에 따른다. 그러나 이런 규격의 초음파법은 저면반사신호 높이를 기준으로 탐상감도를 설정하고 저면반사신호 높이 감소 정도를 기준으로 판정함으로써 대상 시험 부재의 재료특성, 음향특성, 칫수특성 등이 충분히 고려되지 않고, 인공결함을 갖는 대비시험편 이용 방법은 대비시험편 제작을 위한 동일한 조건의 소재를 확보해야하는 현실적인 어려움이 있다.

Table 1 Ultrasonic inspection code requirements for clad material

Code	KS B 0234 ⁷⁾	ASTM A577/578 ¹²⁾
Material	· Steel+Stainless · Steel+Nonferrous metal	· Steel+Cu alloy · Steel+Ni alloy · Steel+Cr and Ni alloy
Transducer	· 5MHz, for 20mm≤t≤50mm · 5MHz(2.25), for 50mm≤t	· 5MHz, for t≤20mm · 5MHz, for 20mm≤t
Ref. level	· Set 1st back echo to 80% of FSH	· Set 1st back echo to 50~90% of FSH for scanning · Set 1st back echo to 75±5% FSH for evaluation
Criterion	· Loss of 1st back echo to 50% of FSH and defect echo isdominant	· Loss of 1st back echo lower than 50% of FSH

*FSH : Full Screen Height

따라서 본 연구에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 폭발접합에 의하여 Fe-Naval brass 이종금속 접합시료를 제작하고 접합재료의 물리적 특성인 음향 특성 즉 초음파 감쇠 및 반사계수를 고려하여 계면 반사음압의 크기를 산정하고 이를 판정기준으로 하여 폭발접합 시험편에 대한 초음파탐상 결과와 관련 KS 및 ASTM규격 방법에 의한 초음파탐상 결과를 비교 검토하여 이론적인 탐상감도 설정법(TUALM : theoretical ultrasonic amplitude level method)의 실용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 시험편 제작 및 실험 방법

2.1 폭발접합에 의한 Fe-Naval Brass 이종금속 접합시험편 제작

폭발 접합된 이종금속 계면의 접합품질 및 접합계면을 평가하기 위하여 폭발접합 방법으로 기초시료를 제작하였다. 기초시료 제작을 위한 모재(Base plate)는 900×1,600×15mm 크기의 구조용 탄소강(ASTM A36)을 사용하였으며, 부재(Flyer plate)는 모재보다 다소 넓은 1,000×1,800×4mm 크기의 Naval brass(이하 NBrass라 칭함)를 선정하였다. 사용된 모재 및 부재의 화학성분 및 기계적 성질은 Table 2 및 Table 3과 같다.

준비된 판재를 Fig. 1과 같이 평행법으로 설치하여 부재 위에 스티로폼으로 댐을 만들어 폭약을 살포하고, 뇌관은 길이방향으로 폭발이 진행 되도록 설치하였다. 폭약은 국내 H사에서 생산하여 사용되는 초안(Ammonium Nitrate, AN)폭약을 사용하였다.

폭발접합 판재 제조를 위해서는 적절한 폭발접합 조건(폭약의 종류 및 량, 첨가제, 폭약밀도, 판재간 이격거리)이 선정되어야 한다. 접합품질이 다른 접합시험편 제조를 위해 폭발접합 변수중 폭약판재간 이격거리(Stand off distance)만을 변화시키는 것으로 한정하

Table 2 Chemical compositions of the base plate and flyer plate

Material	wt(%)											
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Zn	Pb	Fe	Sn	
Base plate (ASTM A36)	0.21	0.72	0.22	0.02	0.04	0.20	0.08	-	-	98.51	-	
Flyer Plate (NBrass)		-	-	-	-	59.2	-	39.7	0.18	0.06	0.85	

Table 3 Mechanical and physical properties of the base plate and flyer plate

	Bulk density ρ (g/cm ³)	0.2% Yield strength σ_y (MPa)	Ultimate tensile strength σ_u (MPa)	Elongation(%)
Base plate(ASTM A36)	7.8	235	400	21
Flyer Plate (Naval Brass)	8.9	55	230	48

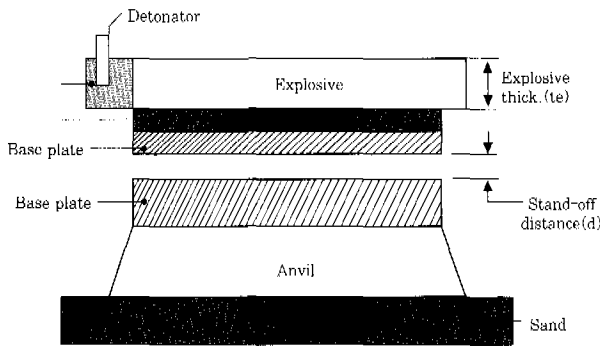


Fig. 1 Experimental set-up for the explosive welding

였는데 이는 폭발접합 변수중 가장 중요한 변수인 폭발속도가 폭약 장전높이(Explosive charge height) 및 관재간 거리(Stand-off distance)에 의해 결정되기 때문^{1,2,16)}이다. 본 실험에서 선택한 폭발접합 조건은 Table 4에 나타내었다.

위의 방법으로 폭발 접합된 이종금속 시험편의 초음파탐상시험을 실시하였다. 폭발 접합조건별로 제작된 시료의 대표적인 형상은 Fig. 2와 같다.

Table 4 Explosive welding conditions

Specimen No.	Stand off distance(d:mm)	Explosive thickness(te:mm)
1	1.5	35
2	2.8	35
3	4.0	35

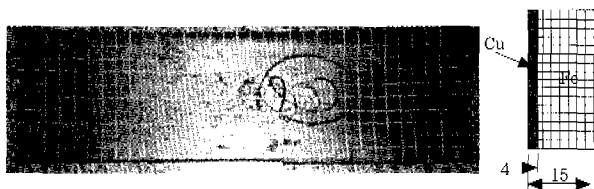


Fig. 2 Apparent view of explosively bonded Fe-NBrass specimen

2.2 실험장치 및 시험방법

2.2.1 초음파탐상시험 장치

모재(15t) 및 부재(4t)의 속도 및 감쇠계수 측정 및 폭발 접합된 계면의 초음파탐상시험을 위해 사용한 장비의 구성 및 사양은 Fig. 3 및 Table 5에 나타내었다.

2.2.2 초음파탐상 실험방법

가) 음향특성 측정

모재 부재에서 각각 수직탐상으로 펄스에코법에 의해 다중의 저면 신호를 얻고 저면 반사신호간 거리를

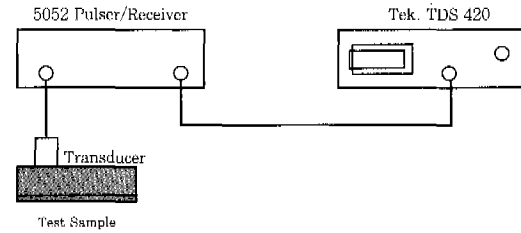


Fig. 3 Schematic of ultrasonic property measurement system

Table 5 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 Bandwidth:0.35MHz
Couplant	Glycerin	
Oscilloscope	Oscilloscope	

오실로스코프에서 측정하여 해당재료의 두께와의 상관관계에 의하여 초음파 속도를 측정¹³⁾하고 식(1)을 적용하여 각 재료의 음향임피던스를 구하였다. 이 음향임피던스는 음향학적으로 본 물질의 정도로, 물질의 밀도 ρ (kg/m³)와 매질을 진행하는 초음파의 속도 V(m/s)의 곱으로 다음과 같이 나타내어진다.

$$Z(\text{kg/m}^2\text{s}) = \rho \times V \quad (1)$$

1탐촉자법에 의해 결함을 검출할 때 초음파의 진행과 수반하여 일어나는 손실을 초음파 감쇠(Ultrasonic attenuation)라 하고 시험체중을 통과할 때 초음파의 확산과 결정입계에서 산란 및 내부마찰에 의한 감쇠가 주로 발생하며 감쇠의 정도는 다음과 같은 식에서 감쇠계수¹³⁾로 나타낸다.

$$Pt = Po \exp^{-\alpha t} \quad (2)$$

여기서 Pt는 음압 Po의 초음파가 일정거리(t)만큼 진행했을 때의 음압이며 α 는 감쇠계수(Attenuation coefficient)이다. 감쇠계수의 단위는 Np/mm이고 이를 dB/mm로 변형하면 다음과 같다.

$$20 \log(Po/Pt)/t = \alpha \quad 20 \log e = 8.69 \quad \alpha \cong \alpha \quad (3)$$

초음파의 감쇠는 재료의 금속조직 특성과 적용하는 초음파의 파장(λ)과의 상관관계에 따라 다르다. 따라서 이론적으로 정립된 두 경계면에서 초음파의 감쇠

빛 반사특성을 평가함으로써 계면의 접합상태 및 계면의 금속학적 특성 평가가 가능하다.

나) 탐상감도 및 접합품질 판정기준

Fig. 4와 같이 두개의 물질이 평면으로 밀착하고 있을 때 한쪽의 불질을 진행해온 초음파가 경계면에 수직으로 입사하면, 그 일부는 경계면을 수직으로 투과하고, 나머지는 수직으로 되반사 한다. 이때 이러한 반사신호의 크기는 경계면에서 반사되는 초음파의 비율과 투과하는 비율에 의해 비교되어지며 음압 반사율과 음압 투과율은 밀착하고 있는 2개의 물질의 음향임피던스(Acoustic impedance)에 의해 결정된다.

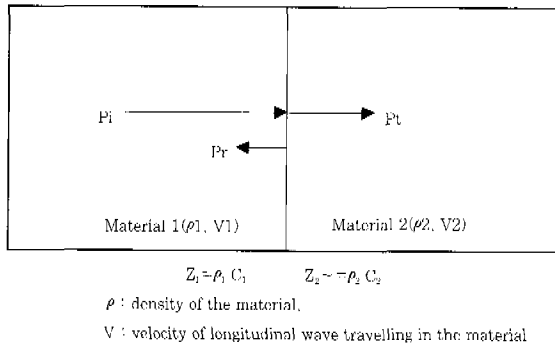


Fig. 4 Ultrasonic reflection and transmission at the interface

Fig. 4에서 매질 1 및 매질 2의 음향임피던스가 각각 Z_1 , Z_2 라 하고, 입사파, 반사파 및 투과파의 음압을 각각 P_i , P_r 및 P_t 라 하면 음압반사율(r) 및 음압 투과율(t)은 다음과 같이¹³⁾ 된다.

$$r = P_r/P_i = Z_2 - Z_1 / Z_1 + Z_2 \tag{4}$$

$$t = P_t/P_i = 2Z_2 / Z_1 + Z_2 \tag{5}$$

역으로 매질2로부터 매질1의 경계면에 초음파가 입사했을 때의 음압 반사율 및 음압 투과율은 같게된다. 이와 같이 초음파가 경계면을 투과하는 비율은 각 매질의 음향임피던스 차에 따라 다르다. 초음파가 양 매질을 왕복 투과하는 비율을 음압 왕복 투과율이라고 하며, 경계면을 왕복 투과했을 때의 음압을 P_T 라고 하면 음압 왕복 투과율은 다음과 같이 표시된다.

$$P_T = 4Z_1Z_2 / (Z_1 + Z_2)^2 \tag{6}$$

각 접합 조건에 따라 폭발 접합된 실험편 계면의 접합품질 평가를 위한 초음탐상시험을 위해 모재 및 부재에서 측정된 각각의 감쇄계수와 음향임피던스 차에 의한 계면 반사에너지비를 얻어 이종금속 접합 계면에서의 반사신호 비를 얻어 접합품질 판정기준으로 정하였다. 또한 KS B 0234-92 및 ASTM A 578에 제시

된 시험방법으로 탐상하여 각 방법을 비교, 검토하였다. 초음파탐상시험을 실시한 각 시험편의 접합부를 확인하기 위해 단면을 절단하여 주사전자현미경으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모재 및 부재의 음향특성 측정결과

Fig. 5 및 Fig. 6은 5MHz 상용주파수 수직탐촉자를 사용하여 폭발접합전 모재 및 부재에서 얻은 RF 신호이다. 모재 및 부재의 RF파형에서 횡축은 초음파의 진행시간을, 종축은 음압의 크기를 나타내며, 초기 신호 다음부터 순서대로 나타낸 B1, B2신호는 각각 모재 및 부재에서 얻은 첫 번째와 두 번째 저면 반사신호이다. 이와 같이 측정된 모재 및 부재의 저면 반사신호간 거리와 신호 높이 차를 측정하여 식(1), (2) 및 식(3)에 따라 얻은 모재 및 부재의 음향특성은 Table 6에 나타내었다.

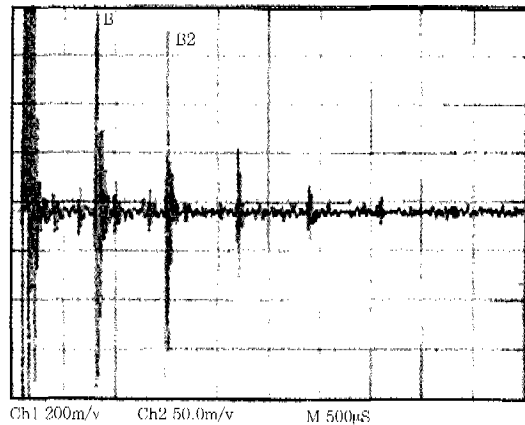


Fig. 5 Ultrasonic RF signal pattern acquired from the base plate

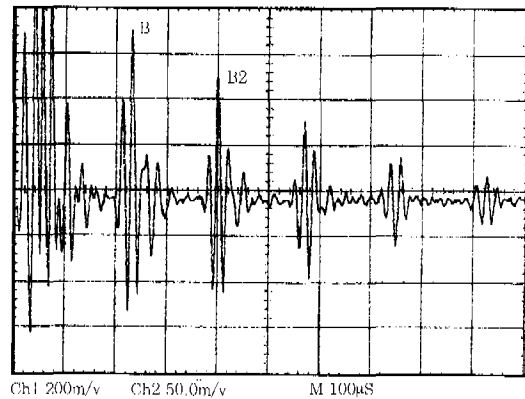


Fig. 6 Ultrasonic RF signal pattern acquired from the flyer plate

Table 6 Measured ultrasonic properties

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

3.2 폭발접합 시험편의 음향특성을 고려한 접합계면 반사신호

각 부재의 음향임피던스 측정 결과를 식 2 및 4에 적용하여 두 재료가 접합되었을 때 초음파 진행에 의한 감쇠와 모재와 부재간의 접합계면에서 음향임피던스 차에 의한 계면 반사신호의 크기를 이론적으로 구할 수 있어 폭발접합된 시험편의 계면 및 저면에서 반사되는 초음파 신호의 크기를 예측할 수 있다. Fig 7은 폭발 접합된 시험편의 탄소강 표면으로부터 송파가 수직으로 입사되었을 때 각 위치에서의 초음파 진행경로를 도식화한 것이다.

실험을 수행한 시험편의 경우 Fig. 7의 도식에 나타난 초음파 진행경로를 따라 이론적으로 예측된 신호의 위치 및 진폭은 Table 7에 나타내었다. Table 7에서 계산에 의한 음압(Calculated sound pressure)은 탐상면인 탄소강의 표면에서 입사 음압이 100이라고 가정할 때 초음파의 진행 거리에 따라 감쇠에 의한 도달음압 및 계면에서의 반사 및 투과 음압의 크기이다. 이 결과를 이중접합재료 계면에서 초음파 반사음압을 예측하여 접합계면 품질 판정을 위해 접합시료의 저면에 도달한 초음파 음압이 100이라고 가정하고 이중금속 접합 계면에서 각 매질의 음향임피던스 차에 따른 초음파의 반사와 투과량 및 매질을 진행하는 동안의 감쇠이론 및 반사이론에 따라 각 위치에서 예상되는

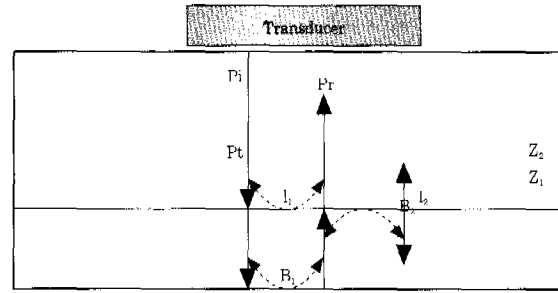


Fig. 7 Illustration of ultrasonic reflection and transmission at the interface using straight, longitudinal ultrasonic wave.

음압을 계산하면 첫 번째 저면반사신호가 100%일 때 첫 번째 계면 반사신호 높이가 20.6%가 된다. 따라서 정상적으로 접합된 이중금속 접합시료를 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 최대 20.6%가 될 것이므로 이 진폭을 접합부의 합부판정 기준으로 정할 수 있다.

3.3 수직 초음파탐상 검증시험

3.3.1 음향특성을 고려한 수직 초음파탐상 결과

폭발 접합된 시험편은 Fig. 2와 같이 시험편의 표면에 10×10mm의 그리드 라인을 표시하고 각각의 위치에서 초음파탐상을 실시하였다. 초음파탐상시험시 초음파신호의 진폭은 시험표면의 조건, 접촉압력 및 접촉매질 등에 의해 영향을 받으므로 이러한 영향을 최소화하도록 하고 탐상감도는 1차 저면반사신호 높이를 FSH(Full screen height)의 100%가 되도록 설정하여 얻은 이중금속 접합부에 대한 A-scan 신호의 형태를 Fig. 8에서 Fig. 11에 나타내었다.

Table 7 Calculated sound pressure and reference amplitude using 5MHz transducer according to the sound beam path in Fe-NBrass series specimen

Locations	Beam path(mm)	Calculated sound pressure(%)	Ref. amplitude(%)	Remarks
Arrived at 1 st interface(I ₁)	5.42	42.81	-	
Reflected at 1 st interface(R ₁)	15.42	4.98	20.60*	
Transmitted at 1 st interface(T ₁)	15.42	35.96	-	
Arrived at 1 st back surface(B ₁)	19.27	24.17	100**	Ref. level
Arrived at 2 nd interface	23.12	18.32	-	
Reflected at 2 nd interface	23.12	3.36	-	
Transmitted at 2 nd interface	23.12	14.96	-	
Arrived at 2 nd back surface	38.54	6.91	-	

Fig. 8은 폭발접합 시험편 번호 1에서 얻은 대표적인 A-Scan 파형으로 좌로부터 첫번째 신호는 초기신호(Main bang)이고 두번째 신호는 모재와 부재의 계면에서 반사되는 신호(Interface reflected signal)이며, 세번째 신호(B1)는 접합시료의 저면에서 반사되는 1차 저면반사신호(Back surface reflection signal)이다. 이론적인 감도설정에서 1차 저면반사신호(B1)를 FSH의 100%에 탐상감도를 설정할 때 1차 접합계면 반사신호 높이는 최대 20.6%로 예측되었으나 실제 탐상결과 신호높이는 39%로 접합계면의 접합불량으로 평가할 수 있다.

Fig. 9는 폭발접합 시험편번호 2 및 3에서 얻은 A-Scan 파형으로 위와 같은 방법으로 1차 저면반사신호(B1)를 FSH의 100%에 탐상감도를 설정할 때 1차 접합계면 반사신호 높이는 13.5%로 이론적인 예상반사신호높이 20.6%보다 낮게 측정되어 접합상태는 양호한 것으로 평가된다. Fig. 10의 초음파 신호는 접합계면의 미접합에 의해 계면반사신호 높이는 증가하고 저면반사신호가 저하됨을 확인할 수 있다.

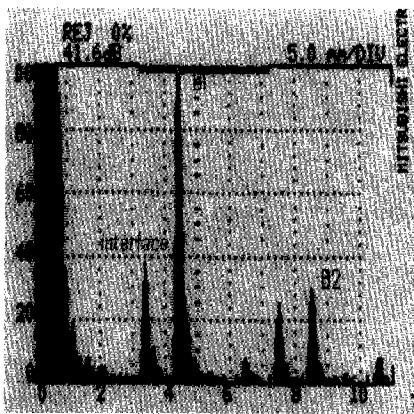


Fig. 8 A-Scan signal pattern acquired from the poor bonded sample #1(Ref. Fig. 12)

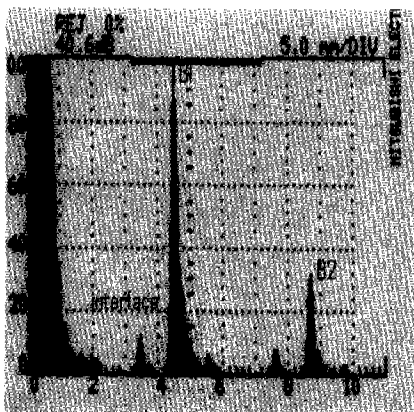


Fig. 9 A-Scan signal pattern acquired from the good bonded sample #2&3(Ref. Fig. 13, 14)

Fig. 11은 탐상 표면으로부터 13mm위치인 접합계면 근처의 탄소강에서 발생된 균열신호가 검출되었으며 이와 같은 균열은 폭발접합시 순간적인 충격에너지 이후 반사에너지에 의한 균열^{16,17)}로 이러한 균열결함은 충격에너지가 큰 3번 시험편에서 주로 발생되었으며 주사 전자현미경 사진 관찰에서 확인되었다.

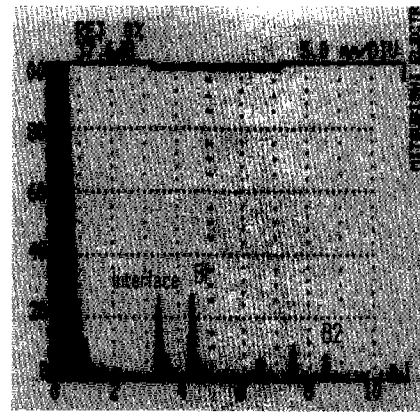


Fig. 10 A-Scan signal pattern acquired from interface lamination(Ref. Fig. 15)

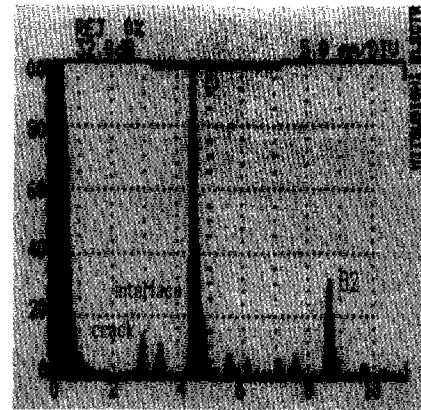


Fig. 11 A-Scan signal acquired from crack near the interface(Ref. Fig. 16)

Fig. 12는 폭발접합 조건중 이격거리가 가장 적은 1번 시험편의 단면형태로 이격거리 부족으로 충분한 충돌에너지를 얻지 못함으로써 폭발접합에서 발생하는 계면 파동이 발생하지 못하였다. 그러나 Fig. 13 및 Fig. 14의 시험편 번호 2 및 3은 충분한 접합조건으로 폭발접합에서 발생하는 전형적인 계면접합 파형^{17,18)}을 확인할 수 있으며, Fig. 13 및 Fig. 14를 비교할 때 이격거리 증가에 따라 접합계면의 파형 크기가 증가함을 알 수 있다. 이러한 폭발접합 조건에 따른 계면의 파형 크기 및 형태가 접합강도에 미치는 영향이 예상되나 본 연구범위에서는 제외하였다.

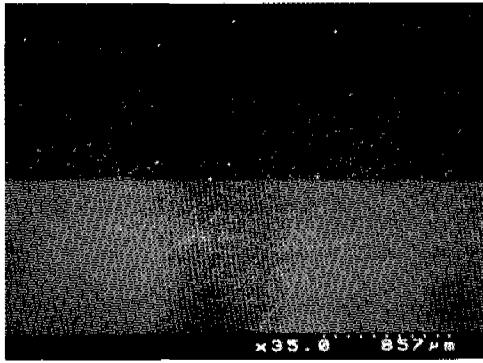


Fig. 12 SEM micrograph of cross section of the sample #1(no wavy interface))

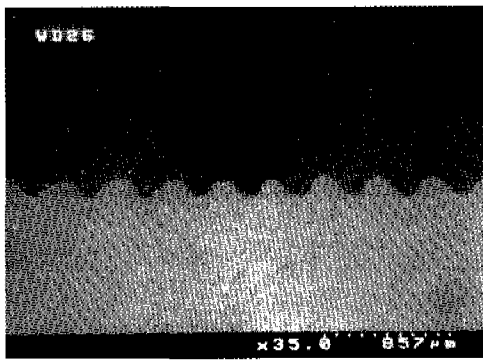


Fig. 13 SEM micrograph of cross section of the sample #2(wavy interface)

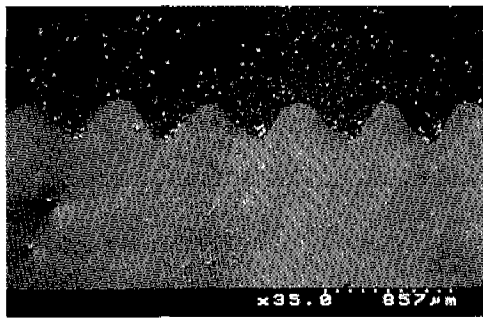


Fig. 14 SEM micrograph of cross section of the sample #3(wavy interface)

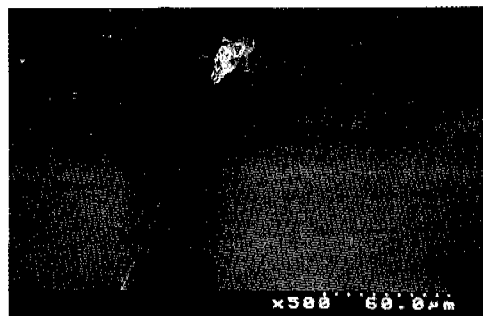


Fig. 15 SEM micrograph cross section of the interface delamination area

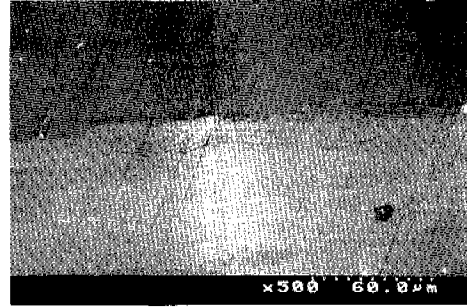


Fig. 16 SEM micrograph can be seen the micro crack near the interface

초음파가 이중금속 접합 시험편에 입사시 계면반사 신호 크기와 계면 파형 크기와의 관계를 알아보기 위하여 각 시험편 계면의 파형 크기를 주사전자현미경으로 관찰하여 측정하고 초음파탐상결과 확인된 접합계면의 반사신호 높이와의 관계를 Fig. 17에 나타내었다. Fig. 17에서 보는 바와 같이 접합계면 파형이 발달되지 못한 1번 시험편의 1차 계면반사신호 진폭은 이론적으로 얻은 음향특성 및 계면반사특성을 고려한 1차 계면반사신호 기준레벨인 20.6%보다 크고, 폭발 접합조건에 이격거리가 2.8mm, 4.0mm로 증가함에 따라 접합계면 파형의 파장 크기는 140×200 μ m, 280×500 μ m으로 증가할 때 접합계면 반사신호 높이는 감소하였는데 이는 모재와 부재의 충분한 접합과 접합계면 파형에 의한 난반사의 영향으로 예측되며 사용되는 진동자의 크기 및 주파수에 따른 파장의 크기와 직접적인 관계가 있을 것으로 사료되어 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

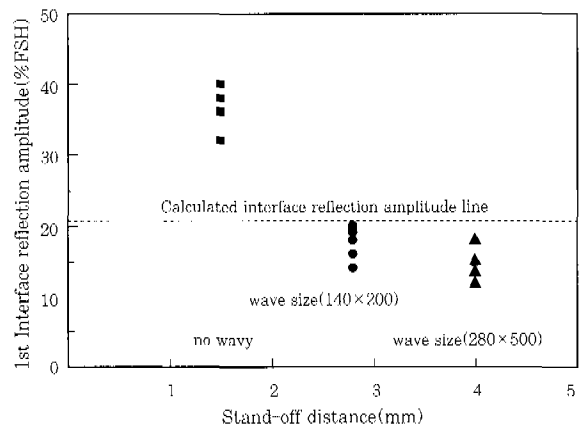


Fig. 17 Fe-Naval brass interface reflected amplitude according to the explosive welding condition

3.3.2 접합 부재의 두께비에 따른 계면반사신호 크기 본 실험에서 수행한 부재(4t)/모재(15t)의 두께비는 26.6%이다. 실험을 수행한 접합재의 부재/모재의 두

깨비가 다를 경우 초음파탐상을 위한 접합 계면의 판정기준설정을 위하여 부재/모재 두께 비를 0.25~0.75까지 변화시켜 첫 번째 저면 반사신호 높이가 100% FSH가 될 때 계면반사신호 높이를 계산하여 Fig. 18에 나타내었다. Fig. 18에서 보는바와 같이 접합되는 재료의 저면에서 반사되는 신호높이를 100%FSH로 정하였기 때문에 접합부재의 두께 비에 따라 평가감도가 달라짐에 유의하여야 한다. 동일한 음향특성을 가진 재료의 접합조합이라 하더라도 부재와 모재의 두께비에 따라 초음파탐상시 계면반사신호의 높이가 달라지기 때문이다. 따라서 이종금속 접합부에 초음파탐상시 Table 1과 같이 한국산업규격 및 ASTM 규격을 적용하여 일관된 합부 판정기준을 정하는 것은 타당하지 못하다고 사료된다.

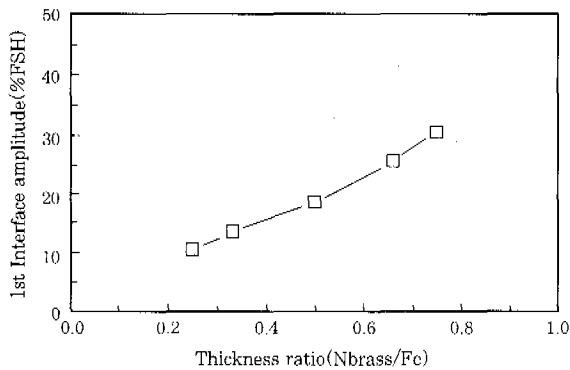


Fig. 18 Calculated Fe-NBrass interface amplitude according to the clad thickness ratio

3.3.3 각 초음파탐상 시험방법에 의한 결과의 비교

각 조건별로 제작된 폭발접합 시험편을 KS B 0234 및 ASTM A578에 따라 탐상감도를 설정하여 초음파탐상시험을 실시하고 각 방법에 따라 폭발접합시험편의 접합계면 품질을 평가, 비교하여 얻은 결과를 Table 8에 나타내었다.

Table 8 Ultrasonic test results according to the KS, ASTM and TUALM

Specimen No.	KS B 0234	ASTMA 578	TUALM	Remarks
1	Acceptable	Acceptable	Unacceptable	
2	Acceptable	Acceptable	Acceptable	
3	Acceptable	Acceptable	Acceptable	

Table 8의 본 연구에서 제안하는 실험결과와 각 규격에 의한 시험 결과의 비교에서 보는바와 같은 폭발접합 계면의 접합품질 평가를 위한 초음파탐상 결과는 KS B 0234와 ASTM A578 규격에 의한 탐상방법

과 판정결과가 유사하나 본 연구에서 제안하는 접합재료의 음향특성과 접합계면에서의 반사에너지 비를 고려한 방법(TUALM)이 보다 엄격한 평가 결과로 확인되었다.

따라서 음향임피던스 차가 큰 재료의 접합 또는 접합되는 모재와 부재의 두께 비에 따라 계면반사신호의 크기 등이 달라질 수 있으므로 본 연구에서 활용한 방법이 보다 효과적일 것으로 판단되며, 이 방법은 접합되는 재료의 음향특성, 두께변화 등이 다양한 접합조건에 대한 초음파탐상 방법 및 판정기준으로 활용이 가능하리라고 판단된다.

4. 결 론

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

1) 초음파탐상시험을 실시한 Fe/Naval Brass의 경우 폭발접합전 소재의 초음파특성을 측정하여 접합 계면에서 초음파음압을 감쇠 및 반사이론을 도입하여 판정기준을 정하여 접합계면의 품질평가가 가능하였다.

2) 본 연구방법에 의한 접합계면 평가방법이 한국산업 규격 “KS B0234” 및 “ASTM A578” 규격에 의한 평가방법보다 엄격하다.

3) 본 연구에서 제시된 방법으로 이종금속 접합재료별 초음파특성을 측정하고 감쇠 및 반사특성을 고려한 계면의 반사음압을 예측하여 타당한 탐상감도를 설정할 수 있으며, 접합재질이 다른 접합조건인 경우도 같은 방법으로 접합계면 평가가 가능하리라고 판단되나 이에 대한 추가적인 보완 연구가 필요하다.

후 기

본 연구를 위해 시료제작을 지원해 주신 (주)한화에 감사드립니다.

참 고 문 헌

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 살포에 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 B 432-91 : "Standard Specification for Copper Alloy Clad Plate."
 9. ASTM A 264-92 : "Standard Specification for Stainless-Clad Plate, Sheet, and Strip."
 10. ASTM A 263-92 : "Standard Specification for Corrosion-Resisting Chromium Steel-Clad Plate, Sheet, and Strip."
 11. ASTM A577/A577M-90 : "Standard Specification for Ultrasonic Angle-Beam Examination of Steel Plates."
 12. ASTM A578/A578M-90 : "Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Plain Clad Steel Plates for Special Applications"
 13. Dale ensminger : "Ultrasonics." 2nd. Ed. Marcer Dekker, Inc. New York
 14. S. K. Banerjee and B.Crosssland : "Mechanical Properties of Explosively-Cladded Plates." *Metal Construction and British Welding Journal*, July(1971)
 15. U.S Patent No. 3264731. B.Chudzik, Dupont De Nemours Co.(1966)
 16. R. S. Rindhart and J.Pearson : "Explosive Working of Metals, MacMillan, New York(1963.)
 17. A. Pocalyko : "Febrication of Explosive-Welded Titanium-Clad Composites" *Welding Journal*, Jan.(1976)
 18. Steve H. Carpenter and Robert H. Wittman : "Recent Developments in Theory and Application of Explosive Welding." ASME Technical Paper No. MF 74-819(1974)