

수침초음파를 이용한 확산접합부평가

박 중 채 · 오 창 선 · 김 영 수 · 김 재 곤

Analysis of Diffusion Bonded Parts Using Immersed UT Method

J. C. Park, C. S. Oh, Y. S. Kim and J. G. Kim

Abstract This paper presents a summary of the immersion ultrasonic test to analyze the quality of diffusion bonding parts. The most important property of diffusion bonding parts is bonding strength, and that can be obtained by shear test. By comparing among data obtained by ultrasonic test(C-Scan) and those by shear test (bonding strength), these data are shown to be in good relation. Therefore ultrasonic C-Scan test result can be used successfully in quantitative quality control for diffusion bonded parts.

1. 서 론

윤활 크래드 제품은 서로 다른 특성을 갖는 재료를 복합시켜 각 재료의 장점을 발휘케 하므로 단일금속에서는 얻어지지 않는 새로운 기능이나 보다 고도의 성능을 부가한 일종의 복합재료 제품이다. 당사에서 개발, 사용되고 있는 윤활 크래드 제품도 고압, 고속회전에 사용되는 제품특성을 만족시키도록 윤활 및 내마모 특성이 좋은 동합금과 강도가 우수한 구상흑연 주철을 접합시킨 것이다. 따라서 활주부위 즉 라이닝부의 윤활, 내마모 특성 외에 구상흑연 주철인 모재와의 접합강도가 품질에 결정적인 영향을 미치므로 제품개발에 있어서 접합기술과 접합강도

를 평가하는 기술은 핵심기술에 속한다고 볼 수 있다. 이러한 접합강도 평가에는 제품특성상 비파괴 시험기술이 요구되는데 비파괴 시험법 중 접합강도에 영향을 줄 수 있는 계면결합 평가에 유용한 검사법은 초음파 시험법이다. 본고에서는 이러한 윤활 크래드 제품 접합면의 접합강도(전단강도)와 초음파 시험결과 사이의 상관관계 규명을 위해 수행한 시험에 대해 논하고자 한다.

2. 시험내용

2. 1 시험물

본 고에서는 연구된 윤활 크래드 제품은 내부에 조립된 피스톤이 작동유를 급송하고

고정된 밸브 플레이트에 대해 크래드 면의 활주부위를 가진 블럭(Body)이 고하중을 받으며 고속 회전하고 있는 가혹한 조건에서 사용되는 특성을 가진 것이다.

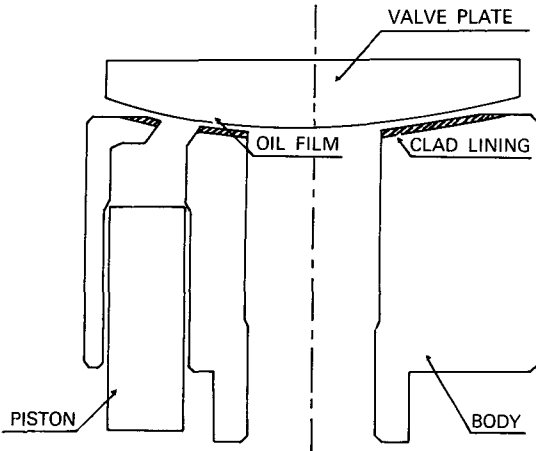


Fig. 1 Diffusion bonded product ass'y

따라서 본체는 값싸고 강성이 있는 일반강이나 주철주물재(GCD40~GCD60)를, 활주부위는 윤활 및 내마모성이 좋은 동합금이 사용되는데 두 이종재료 사이의 접합은 원자간 확산을 이용한 확산접합 방법으로 제조한 것이다.(Table 1, Table 2 참조)

Table 1. Copper based alloy composition

element	Cu	Sn	Pb
contents	70~90	5~20	2~10

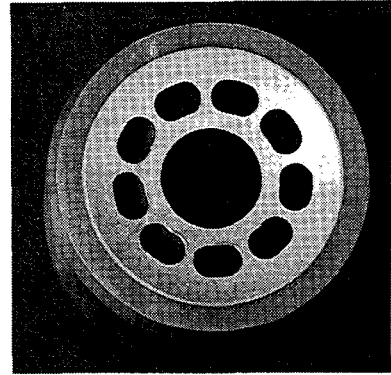
Table 2. Diffusion bonding condition

Temp. (°C)	Pressure (Kgf/cm ²)	Pressure condition
700~900	10~90	vacuum/ inert gas

시험재는 Fig. 1과 같이 구상 흑연주철인 모재와 두께 2mm이하의 얇은 라이닝 층으로 되어 있으며 제품 외형은 원주 형태이나 접착면은 오목구 형태의 구면으로 되어 있다. (Fig. 2 참조)



As Received



Final Product

Fig. 2 Diffusion bonded product

2. 2 시험 제품제작 공정

이종금속을 접합하는 크래드 제품은 여러 제조방법이 있으나 본고에서는 연구된 것은 다음과 같이 동합금 분말을 표면처리한 본체에 조합한 후 가열하여 완성한 것이다. 주요 공정은 다음과 같다.

(1) 분말조성(크래드재)

라이닝부에 사용된 동합금 분말은 Table 1에서 보는바와 같이 기지조성이 Tin-Bronze로서 약 75~95% 정도이며 기타 첨가되는 Pb등은 윤활제 역할을 수행한다. Pb는 Tin-Bronze와의 고용도가 0에 가까와 Tin-Bronze의 간극에 편석되어 연질 저융점상(Soft Low Melting Point Phase)를 이루므로 라이닝부(활주부)의 윤활을 좋게하고 소착을 방지한다. Sn은 Cu내에 고용되어 (α-Bronze : 약 14%까지) 피로강도와 항압력을 증대시키

고 내하중성을 향상시킨다.

(2) 접합 전처리

확산접합시 접합표면은 접합거동에 큰 영향을 끼친다. 즉 접합표면에 부착된 유지(기름기) 및 이물질은 모재의 확산을 방해하여 접합이 이루어지지 못하게 한다. 따라서 윤활 크래드재의 본체는 가공후 접합직전에 유기용제등에 의한 탈지처리를 수행해야 하며 가공면 조도관리 역시 중요하다.

(3) 소결 및 확산접합 공정

동합금 분말의 소결온도는 기지조직에 따라 차이가 있으며 Table 2에서 요약한 것처럼 Tin-Bronze의 경우는 700~900°C정도이다. Tin-Bronze계의 소결은 소결과정에서 Sn의 액상형성과 Cu와의 상호확산에 의해 복잡한 중간상을 형성하므로, 균일한 α -Bronze를 얻기 위해서는 세심한 온도 및 냉각관리가 필요하다. 윤활제인 Pb등은 기지조직내에 박혀 있을 뿐이며, 기지조직과 상호 화학적인 반응은 일어나지 않고, 비중이 커 편석될 염려가 크다. 가압소결시에 가하는 압력은 소결을 촉진시키며 본체와의 확산접합이 가능하게 한다. 일반적으로 가압력은 재료에 따라 다르며 보통 전술한 바와 같이 10~90

이상적으로 조합되지 않았을 경우에 접합이 되지 않거나(Unbonding 상태), 저음점 금속이나 비중차가 큰 금속이 접촉부위에 박막을 형성하여 결합력을 약화시키거나, 취약한 금속간 화합물을 형성하여 크랙을 유발시킨다. 또한 압축금형(Die)의 마모, 편심된 가압은 결합력의 약화나 불균일접합을 초래하며, 접합전 접합면의 이물질도 접합불량을 유발한다. 이와같은 결합은 거의 모두가 판상(Delamination)형태로 나타난다. 또한 이런 형태의 결합은 부품 실사용시 고속회전에 의한 마찰전단력에 의해 라이닝이 본체에서 쉽게 박리되게 하므로 전체제품 파손의 원인이 되는 심각한 것이다.

2.3 초음파시험

시험에 사용된 초음파 시험 시스템은 PRO-SCAN(대우중공업 연구소 개발)이며 탐촉자가 시험면에 일정거리를 유지하면서 수직을 이루는 주사법이 구현가능하도록 시험재의 형상인 오목구 형태의 시험면에 대해 Fig. 3과 같이 시험체를 회전하며 주사할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 본 시스템에 사용된 초음파 탐상기의 제원은 다음과 같다.

Table 3. Specification of ultrasonic tester

Item		Description	Remarks
Model(Maker)		USIP12 (Krautkramer/Germany)	
Frequency Range	Narrow Band	0.5~15MHz	
	Wide Band	1~25MHz	
Gain		0~112dB	
Pulse Repeation Rate		20Hz~8KHz	

kgf/cm²정도이다. 소결분위기는 접합계면의 산화방지와 동합금 분말의 산화를 방지하기 위하여 진공 또는 질소가스를 사용하여 불활성 분위기를 만들거나 수소가스를 이용한 환원성 분위기를 사용한다.

(4) 제조공정상 발생 결함

확산접합은 온도, 가압력과 가압시간이 중요한 제조조건이 되며, 이러한 제조조건이

이 시스템은 스텝 모터에 의해서 정밀하게 구동되는 5축 구동부와 제어부, 그리고 시험 데이터를 분석, 평가하는 소프트웨어부, 분석평가된 데이터를 영상처리하고, 결과를 저장하거나 출력할 수 있는 주변장치들로 이루어져 있다.

제품에서 예측되는 결함이 판상이므로 결함 검출이 용이할 것으로 생각되나 시험부의

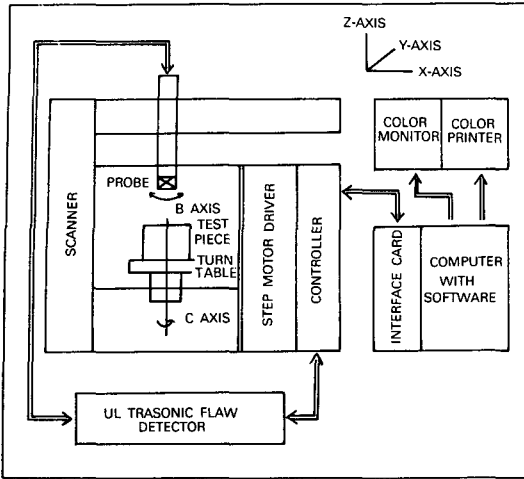


Fig. 3 Block diagram of pro-scan system

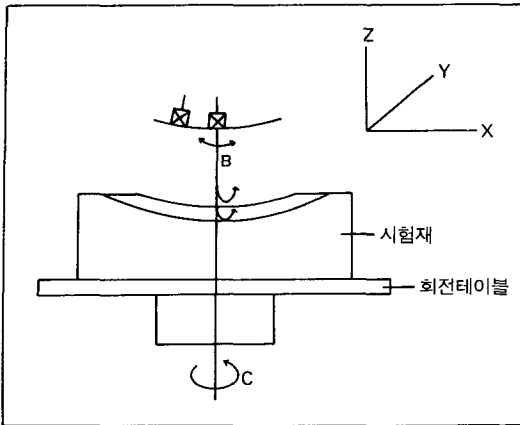


Fig. 4 Experimental setup of UT

형상은 구면이고 라이닝부의 두께가 얇기 때문에 일반적인 초음파 시험법(직접접촉법)으로는 불감대 영역의 영향이 나타나 검사가 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Fig. 4에서와 같이 자동주사에 의한 수침법을 적용하였다.

본 시험에 사용된 초음파시험법은 펄스반사법이였으며 탐촉자는 15MHz, 직경 9.5mm, 초점거리 50mm인 음향 집속형을 사용하여 펄스폭을 최소화하였다. 시험은 라이닝부에서 수행했으며 시험부와 탐촉자간의 거리를 일정하게 유지시켜 접합계면에 음향빔의 초점

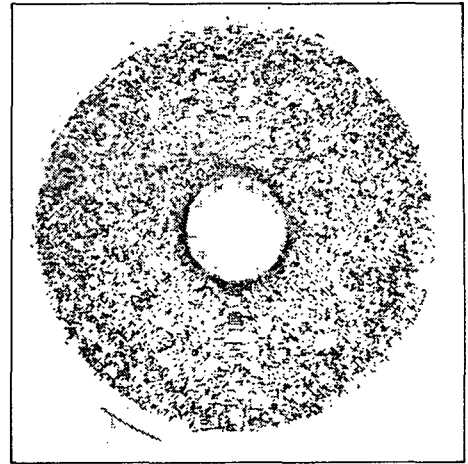


Fig. 5 UT result ①

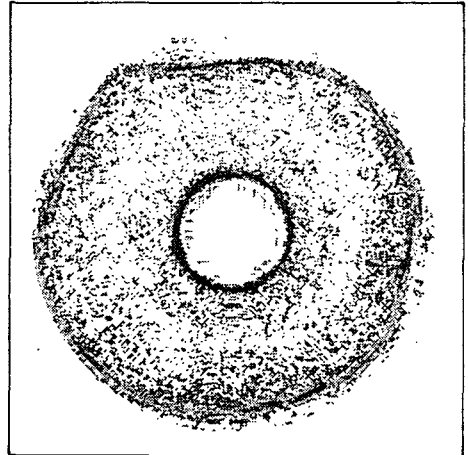


Fig. 6 UT result ②

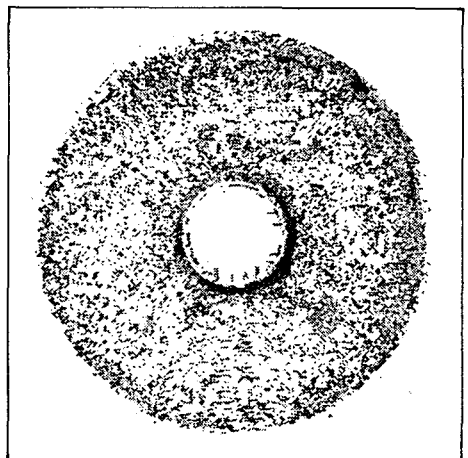


Fig. 7 UT result ③

이 일치되도록 했다. 주사간격은 0.5mm로 시행했다. 접합부 계면에서 반사된 반사파의 높이를 8등분하여 C스캔 영상 처리하므로써 접합품질을 가시화하였다.(Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 참조)

초음파시험 결과를 검토해 보면 검정색(어두운 색)으로 갈수록 반사파의 높이가 큰 것이며 이런경우 전술한 불연속부가 존재할 가능성도 증가한다. 불연속의 존재 여부는 접합부위별 조직을 관찰하여 검증하였다.

2. 4 조직관찰

라이닝부는 동합금 소결체의 내부조직으로 (Fig. 8) 균일한 α 상을 보여주는데 결정입계 사이에 균데균데 존재하는 상은 윤활제 역할을 하는 Pb이다. Fig. 9은 금속학적으로 완전하게 접합되어 있는 접합계면 조직으로 본체 쪽으로 확산층이 관찰된다. 여기서 본체 조직은 퍼얼라이트 기지의 구상흑연 조직이지만 접합계면 근방에서는 Cu등이 확산하여 페라이트화 한 것을 알 수 있다.

접합계면 조직은 금속학적으로 완전하게 접합되어 있는 접합계면 조직 (Fig. 9), 계면에 Pb가 석출되어 박막형태로 존재하는 불균일접합 (Fig. 10) 및 접합되지 않은 상태 (Fig. 11)로 쉽게 구분할 수 있었다.

2. 5 전단시험

윤활 크래드 제품의 접합부는 제품특성이 요구하는 접합강도를 만족하여야 한다. 이를

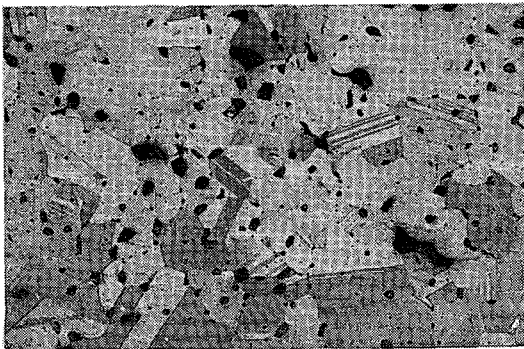


Fig. 8 Microstructure of cladding ($\times 200$ Nital)

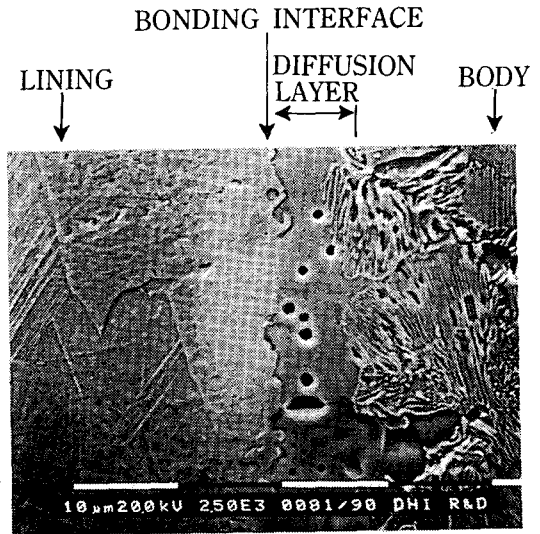


Fig. 9 Perfect bonding(SEM)

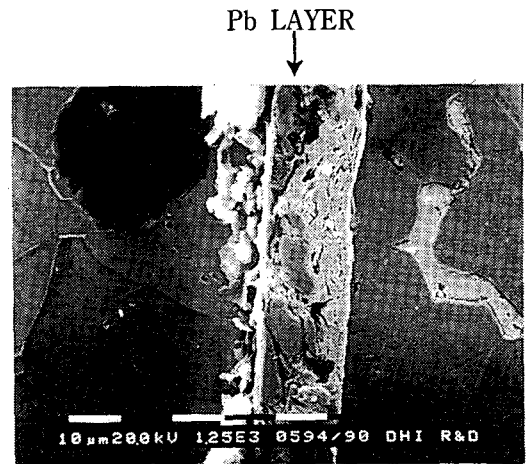


Fig. 10 Bad bonding(SEM)

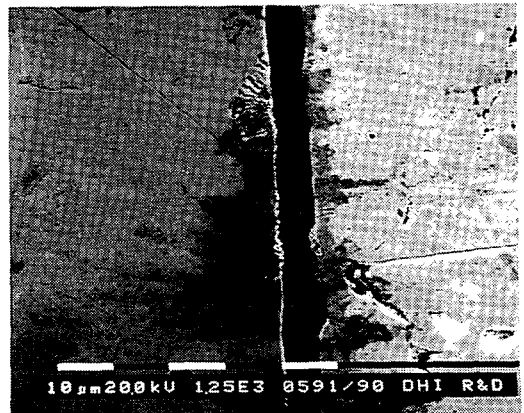


Fig. 11 Unbonding(SEM)

평가하기 위해서 전단시험을 수행하였다. 전단시험을 위한 시편은 초음파시험을 수행한 동일 실제품에서 채취하여 시험하므로써 향후 초음파검사 결과로 제품 접합강도를 평가할 수 있는 기초자료를 삼았다.(Fig. 13)

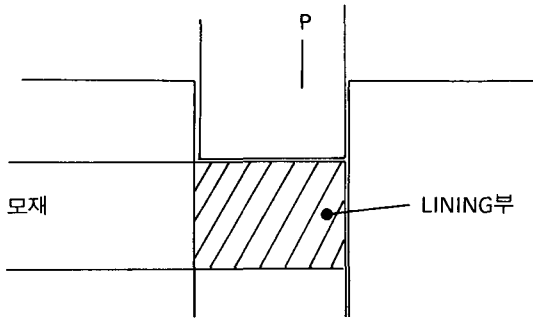


Fig. 12 Shear test

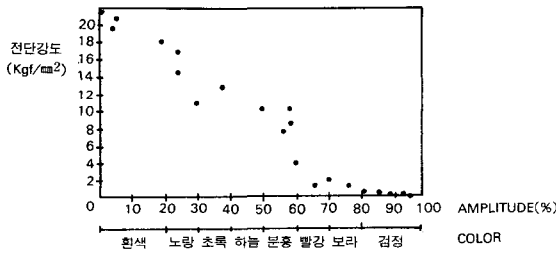


Fig. 13 Relation between shear strength and echo amplitude

3. 결 론

실제품 조직검사와 전단시험 결과에 의해 초음파 시험결과 ①(Fig. 5)은 대체적으로 품질기준을 만족하는 것으로 나타났으며 (Fig. 9), 시험결과 ②(Fig. 6)는 압축금형이 마모되었기 때문에 Cu에 고용도가 낮은 Pb가 밀착되지 않은 공간으로 스며들어 Pb층의 터가 형성된 것이다.(Fig. 10) 시험결과 ③(Fig. 7)에서는 시험부위 중간에 균대 균대 접촉상태가 불량한 곳이 보이며, 특히 시험영역 외곽 부위에 미접착 부위도 나타났다.(Fig. 11) 이와 같은 종합적인 시험평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었

다.

(1) 전단시험 결과와 초음파 시험결과와의 상관 관계는 양호하여 안정된 제작공정에서의 제품평가는 초음파시험으로 가능하다.

(2) 제작공정상 발생하는 압축 금형의 마모를 정상적으로 평가하지 않고 초음파 시험결과 활용에 의한 통계처리 결과를 이용하므로 정량적으로 수명을 평가할 수 있게되어 압축 금형의 적기교체가 가능케 되므로 중요한 불량요인을 제거할 수 있었다.

제품제작시 확산접합을 수행하는 과정에 많은 수가 변수가 내재되고, 또 제품형상이 구면인 관계로 제품평가를 위한 시험에 많은 제약사항이 발생되었다. 대부분의 제조공정 변수에 대한 문제점은 해결하였으나, 제조과정에서 발생하는 Pb의 거동 및 결정입자의 성장등 예기치 못한 다양한 현상이 초음파 시험결과에 영향을 미쳐 이에 대한 보다 깊은 이해가 요구된다. 안정된 공정에서 정해진 제품에 대해 전단시험 대신 초음파 시험을 활용하는 것은 실용화 하였지만 향후보다 다양한 제품에 대해 신뢰성 있는 자료를 제시하기 위해서는 좀더 많은 시험과 주파수 분포(Frequency Distribution) 분석과 같은 기술을 활용하여 종합적인 데이터 베이스를 구축하는 것과 전문지식이 없는 현장요원의 폭넓은 사용이 가능케 될 수 있는 정리된 형태의 평가 소프트웨어 개발이 앞으로의 과제이다.

Reference

1. 김영수, 김재곤, 박종채, 김낙인. "컴퓨터 제어식 5축 자동초음파 탐상장치의 개발", 한국비파괴검사 학회지, 제18호 Vol. 10. No.2, (1990) pp. 82~87
2. N. Horino, A. Kohno, S. Hioki, M. Yanagimoto and Y. Arima. "Strength and Evaluation of Ceramic Joints by the Ultrasonic Method", MRS Int'l Mtg, on Adv, Matg., Materials Research Society Vo.8 © (1989) pp. 119~124
3. T. Momono, M. Kobayashi, K. Oikawa, K.

- Ikawa, "Cladding of Cast Iron and Dissimilar Metals by Diffusion Bonding", IMONO, 60-7(1988) pp. 448~453
4. S. Moriyama and Y. Sono, "Ultrasonic Evaluation of Bonding of Steel and Casting Iron Clad with Cast Copper Alloy", IMONO, 59-11(1987) pp. 640~645
5. S. Mukae, K. Nishio, H. Babe, M. Suenaga and Y. Ishihara. "Solid State Bonding of Ductile Cast Irons(Repert 1)", Quarterly Journal of The Japan Welding Society, 4-1(1986) pp. 66~73