

◎ 論 文

異種材 摩擦熔接 이음부에서의 超音波 反射係數와 熔接條件과의 關係⁺

오 세 규* · 김 동 조** · 한 상 덕***

The Relationship between Welding Conditions and Ultrasonic Reflection Coefficients of Dissimilar Metals Friction Welded Joints

Sae Kyoo Oh, Dong Jo Kim and Sang Deok Han

Key Words : Friction Welding(마찰용접), Pulse-Echo Method(펄스파법), Coefficient of Reflection (반사계수), Frictional Heating Time(마찰가열시간), Upsetting Pressure(엄셋압력), Total Upset(총엄셋)

Abstract

Friction welding has emerged as a reliable process for high-production commercial applications with significant economic and technical advantages. But nondestructive test in friction weld was not clearly developed. Therefore the experimental verification is necessary in order to understand the characteristics of the pulse echo effects according to various change in welding conditions.

This paper presents an attempt to determine the relationship between the various welding conditions and the coefficients of reflection using the ultrasonic pulse echo method in dissimilar metals friction weld.

The new approach of calculating the coefficients of reflection based on measured amplitudes of the echoes is applied in this paper. These coefficients provides a single quantitative measurement which involves both acoustic energy reflected at the welded interface as well as transmitted across the interface.

As a result, it was known that the quantative relationship between welding conditions and the coefficients of reflection using the ultrasonic pulse echo exists in dissimilar metals friction weld.

1. 서 론

自動車部品을 비롯하여 건설기계, 油壓기계 및 船舶, 航空, 海洋등의 機械部品에 이르기까지 多方面으로 摩擦熔接의 활용이 점차 활발해지고 있는 반면, 摩擦熔接部의 接合性에 關한 非破壞的 측정과 검사법은 아직 충분히 개발되어 있지않은 상태이다. 그러

나 가스나 전기저항열을 이용하는 熔融熔接에 있어서는 熔入層이 일정한 두께로 存在하기 때문에 X-ray 또는 超音波探傷器등과 같은 비파괴검사법으로 接合面 근처의 결함등을 찾아낼 수 있으나, 마찰용접의 경우에는 두 材料가 직접 壓接되기 때문에 용착금속부가 존재하지 않으므로 熔接面에 平行한 방향으로 非破壞검사를 실행하기 곤란하다.¹⁾

⁺ 1987년도 한국해양공학회 춘계 학술대회 발표(1987년 6월)

* 정희원, 부산수산대학 이공학부 박용기계공학과

** 정희원, 부산개방대학 기계공학과

*** 정희원, 한국중공업(주) 엔진설계부

그러나, 超音波가 金屬材料의 조직변화나 열 영향 등에 따라 감쇠되는 程度가 다르고²⁾ 異種材料를 통과할 때 재료의 종류에 따라 反射되는 程度가 다르다는 사실에 착안하여 마찰용접면에 수직방향으로 超音波를 발사하여 反射係數를 측정 算出함으로써 용접조건에 따른 초음파 반사계수(reflection coefficient)의 변화관계를 알아보려고 한다. 이 경우 초음파는 펄스(pulse)波를 이용하게 되는데 이 技法은 초음파 검사법의 대표적인 수단으로 알려져 있다. 펄스波의 利用은 초음파 탐상법에서 뿐만 아니라 물리적인 材料의 성질을 연구하거나³⁾, 감쇠계수²⁾, 응력변화에 따른 속도의 변화⁴⁾ 등을 측정하는 데도 활용되고 있으며 다양한 종류의 高精度 水晶振動子の 출현으로 다방면에 걸쳐 그 응용이 연구되고 있다.

본 연구에서는 알루미늄과 스테인레스鋼을 용접재료로 하여 용접조건을 각각 다르게 마찰용접하고 이것으로 초음파 측정 시험편을 제작하였다. 각 시험편에 대해서는 5MHz의 비교적 낮은 주파수(frequency)의 탐촉자(transducer)와 초음파 탐상기를 이용하여 펄스에코우(pulse echo)를 定量的으로 측정하였다. 이렇게 측정된 反射波(echo)의 정량적 수치로부터 異種材의 마찰용접부의 초음파 반사계수를 算出하였다.

본 연구와 관련있는 연구로는 K.K. Wang과 S. Ahmed⁵⁾가 스테인레스鋼과 알루미늄棒의 마찰용접면에 대하여 반사계수와 충격강도를 비교 연구하였지만 그 관련성을 정량적으로는 찾지 못한것 같다. 吳世奎, 金東祚⁶⁾에 의하여 보고된 연구에는 구리와 알루미늄棒의 마찰용접에 관한 초음파 반사계수와 용접이음강도(비틀림강도) 사이의 상관성을 규명한적이 있다. 그러나 용접조건과 마찰용접 이음강도가 서로 연관성이 있음은 알려진 사실⁷⁾이므로, 本 연구에서는 그 일부로서 또 다른 재료에 대하여 용접조건과 초음파 반사계수와의 관계, 초음파 반사계수와 열 영향부 정도분포와의 관계를 구하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 實驗機器 및 材料

실험에 사용된 기계 및 계기는 自動摩擦熔接機械 (Toho Control Co., THFU-25HW 型), 超音波探傷器(Tokyo Keiki Co., SM90), 금속현미경 및 미소경도기(Knoop micro-hardness tester)등 이다.

용접에 사용한 材料는 길이와 지름이 각각 65 mm, 24 mm인 알루미늄(AA1050)棒과 스테인레스鋼(SUS 304)이며 재료의 성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions

Materials (bar)	Chemical composition (wt. %)					
	Cr	Fe	Mg	Mn	Ni	Si
AA1050	—	0.40	0.05	0.05	—	0.24
SUS304	18.3	—	—	1.45	8.36	0.47

2.2 실험

Fig.1 (a)와 같이 가공된 스테인레스鋼과 알루미늄棒을 Table 2와 같은 용접조건으로 摩擦熔接하였다. 마찰용접된 시험편 형상은 Fig. 1 (b)와 같이 업셋(upset) 압력(P_2)에 따라 변화하는 총업셋量을 측정하였다. 마찰용접된 시험편은 플래시(flash)를 제거하고 Fig.1 (c)와 같이 초음파 측정을 하기 위한 형상으로 정밀가공하여 반사파 측정을 실시하였다.

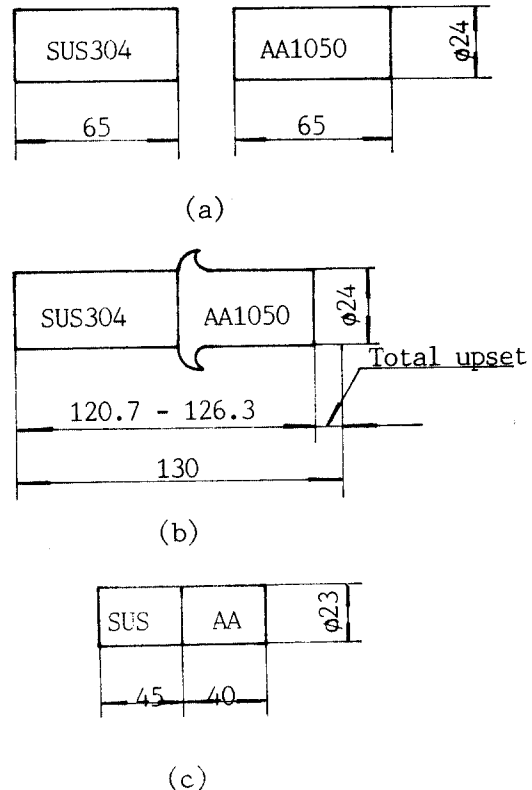


Fig.1 (a) Welding workpieces
(b) Welded workpiece
(c) Ultrasonic test specimen

Table 2 Welding conditions (rpm;2000)

	Frictional preheating	Frictional heating	Upsetting
Time (sec)	$t_0=1$	$t_1=2.5$	$t_2=3$
Pressure (MPa)	$P_0=18.13$	$P_1=36.36$	$P_2=36.36-90.75$

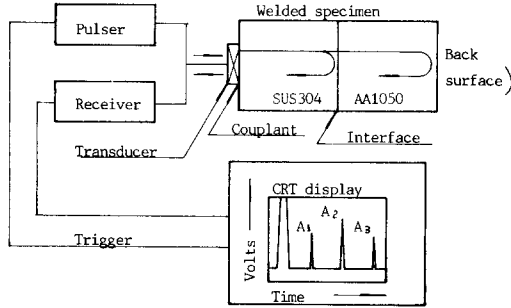


Fig.2 Schematic representation of ultrasonic pulse-echo system

측정은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 초음파탐상기의 CRT 스크린(screen)에서 반사파의 크기를 직접 읽어 측정하였으며, 탐촉자의 주파수와 크기, 탐촉자의 부착방법, 시험편과 탐촉자 사이의 접착油(couplant) 및 중심고정구(centering fixture)에 의한 일정 접촉압력의 유지등은 예비실험을 거쳐 각각 선정하였다. 탐촉자(Tokyo Keiki Co.)는 주파수 5 MHz, 지름 10 mm의 감쇠피복형을 사용하였다.

超音波 反射係數(R)는 반사파들의 측정에 의해 계산되며 식(1)과 같다.²⁾

$$R = \left(\frac{A_1 A_3}{A_1 A_3 - A_2^2} \right)^{\frac{1}{2}} \times 100 \quad (1)$$

식(1)에서 반사계수는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 최초로 熔接面에서 반사되는 반사파를 A_1 , 반대편 端面에서 반사되어오는 波를 A_2 , A_2 가 두번째로 熔接面을 통과할 때 반사되는 波가 반대편 端面에서

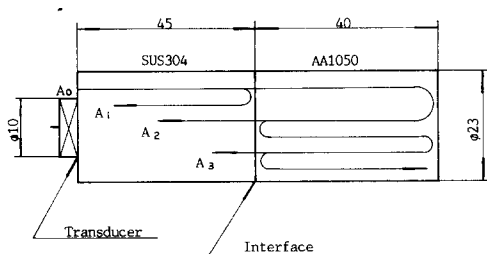


Fig.3 Wave reflections and transmission across a weld interface

다시 반사되어 오는 波를 A_3 라 할 때 이들로 부터 계산된다. Fig. 4는 CRT스크린 상의 반사파들의 實例를 나타낸다.

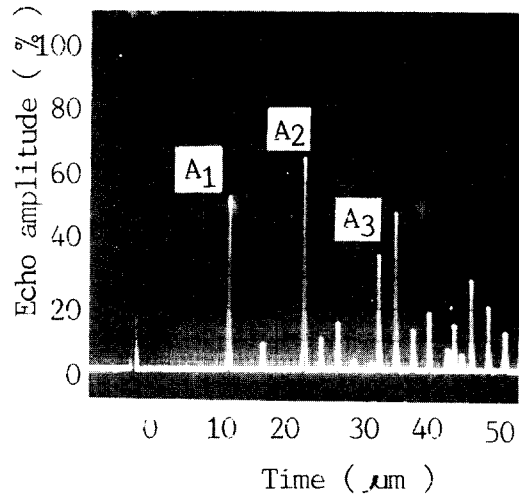


Fig.4 Scope display of echoes obtained from a welded specimen

또한 용접부의 기계적성질을 추정하기 위하여 소재와 열영향부의 경도분포와 조직상태를 조사하였는데, 경도분포 조사는 加壓荷重 20 g, 加壓時間 15 s 하에서 시험편의 縱방향 중심부와 용접면(weld interface)을 따라 각각 0.5 mm 간격으로 누우프(Knoop)경도를 측정하였다. 조직검사에 사용한 부식액으로는 알루미늄에 1% 수산화나트륨水溶液(NaOH 0.5 cc + H₂O 99 cc)을, 스테인레스에 40% 염산 혼합溶液(HCl 20 cc + C₃H₈O₃ 20 cc + CH₃COOH 10 cc)을 각각 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 측정조건인 영향

반사파의 측정에서 고려해야 할 사항은 탐촉자의 주파수와 지름, 접착유, 접촉압력 및 표면거칠기⁸⁾ 등인데 접착유와 접촉압력은 反射波가 CRT스크린에서 2,3초 이내에 안정되는 것으로 예비실험을 거쳐 선택하고 일정하게 유지하였다.

Fig. 5는 탐촉자의 선정을 위하여 실시된 결과를 나타낸다. 즉 주파수가 다른 4개의 탐촉자를 이용하여 표면거칠기가 각각 다른 5개의 연강 시험편에서 반사파를 검출하고 4번째 반사파 크기와 처음

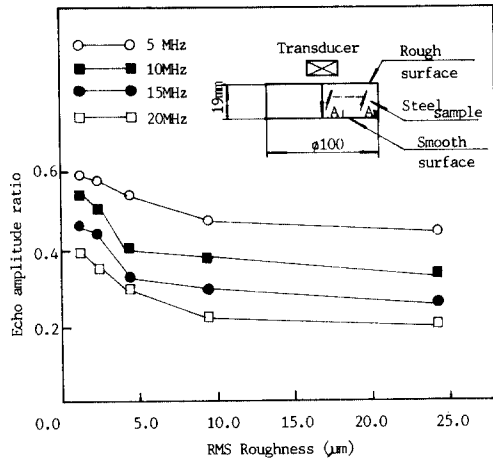


Fig.5 Fourth to first echo amplitude ratio versus sample roughness at four discrete frequencies

반사파 크기를 비교하여 그 비율을 나타낸 것이다. 이 그림에서 주파수와 표면거칠기가 상대적인 波의 크기에 상당히 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 따라서 5 MHz의 탐촉자를 사용함으로써 시험편의 가공오차에 의한 표면거칠기의 영향을 무시한다고 볼 수 있기 때문에 본 실험에서는 5 MHz의 탐촉자를 사용하였다.

3.2 超音波 反射係數와 총입射量의 변화

Fig. 6은 업셋가압력(P_2 MPa)과 (1)식으로 구한 초음파 반사계수의 관계를 나타낸 실험결과이며 가압력 P_2 의 증가에 따라 반사계수 $R(\%)$ 의 값은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 반사계수의 변화원인은 용접면 근처의 조직변화 때문인 것으로 보인다.

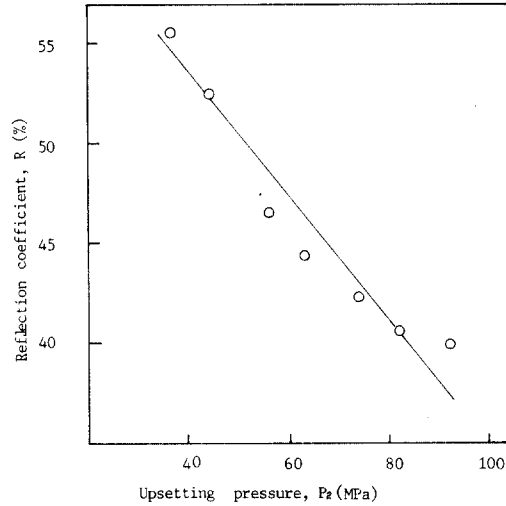


Fig.6 Relationship between reflection coefficients and upsetting pressures

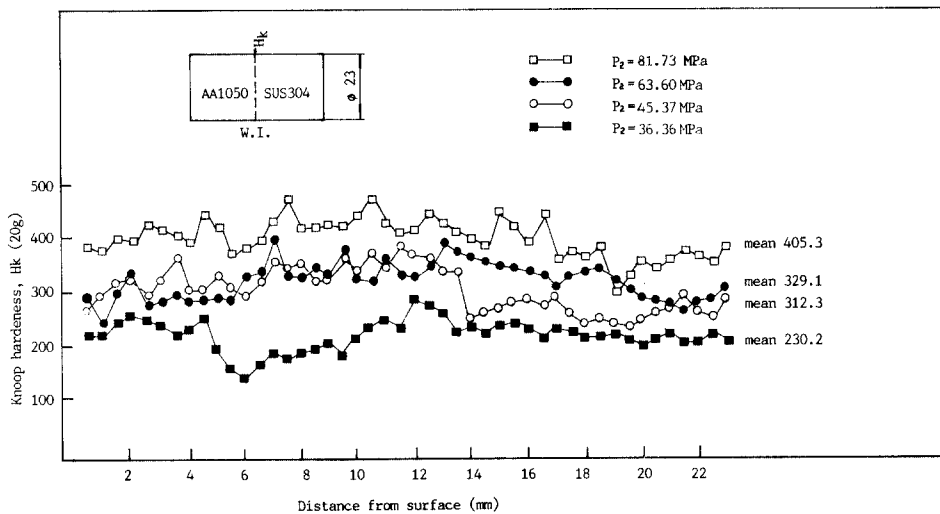


Fig.7 Typical transverse hardness distribution at weld interface of friction welded joints of dissimilar materials (SUS304, AA1050)

Welding conditions ; $n=2000 \text{ rpm}$, $t_0=1 \text{ sec}$, $t_1=2.5 \text{ sec}$, $t_2=3 \text{ sec}$, $P_0=18.13 \text{ MPa}$, $P_1=36.36 \text{ MPa}$, $P_2=\text{as shown in figure.}$

Fig.6상에서 정식화된 실험식은 식(2)와 같다.

$$R = -0.286P_2 + 64.646 \quad (\text{상관계수 } r = -0.95)$$

(2)

앞서 보고⁹⁾된 알루미늄과 구리의 경우에는 마찰가열시간 $t_1(\text{sec})$ 을 변수로 하여 반사계수 R 와 용접조건의 관계를 정리하였다. 그러나 본 연구의 알루미늄과 스테인레스의 경우에는 마찰가열시간 t_1 의 변화에 의한 반사계수 R 의 변화범위가 극히 좁다는 사실을 예비실험에서 경험하고 가열시간 대신 업셋加壓力 P_2 을 변화시키므로써 반사계수의 변화폭을 넓게 얻을 수 있었다. 이러한 사실은 알루미늄에 대한 스테인레스 쪽의 단조온도가 구리보다 상대적으로 훨씬 높기 때문에 가열시간의 증감에 따라 알루미늄의 골재시율이 변화가 있을 뿐 용접면 근처의 조직변화에는 큰 차이가 없다고 볼 수 있다. 또한 업셋加壓力의 증가에 따라서는 용접면 근처의 밀도 변화등 조직의 변화가 잘 일어난다는 사실을 보여주고 있다. 그리고 마찰용접 이음강도에는 업셋壓力이 크게 영향을 미친다는 사실을 감안한다면 양호한 이음강도를 얻기 위해서는 일정 업셋加壓力 이상의 압력이 더해져야 하며 이때 加壓力과 반사계수와의 관계로부터 加壓力대신 반사계수에 의하여 용접성을 판정할 수 있을 것으로 예측된다.

3.3 조직변화와 경도분포

Fig.7은 加壓力 P_2 의 변화에 따른 용접면(interface) 근처의 경도 분포를 나타낸다. 또한 이 결과에서 얻은 평균 경도값(H_{kmean})과 加壓力(P_2)과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. Fig.8의 결과에서 加壓力과 경도와는 거의 선형적으로 비례함을 알 수 있다.

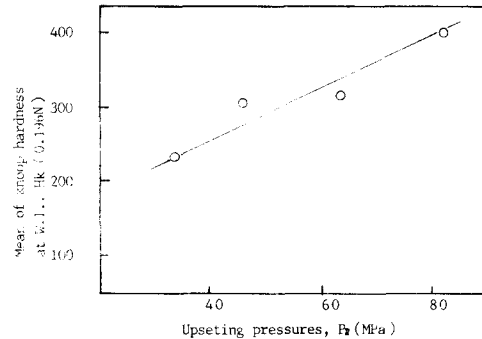


Fig.8 Relationship between mean of Knoop hardness at weld interface and upsetting pressures of dissimilar friction welded joints (SUS 304, AA1050)

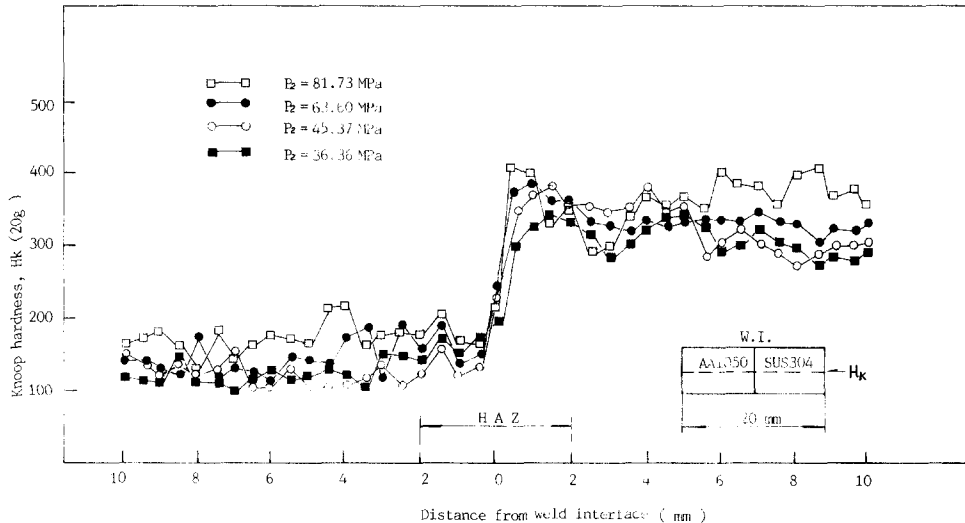


Fig.9 Typical longitudinal hardness distribution at axial centerline of friction welded joints of dissimilar materials (SUS304, AA1050)
Welding conditions ; $n=2000 \text{ rpm}$, $t_1=2.5 \text{ sec}$, $t_2=3 \text{ sec}$, $t_3=1 \text{ sec}$, $P_1=36.36 \text{ MPa}$
 P_2 =as shown in figure, $P_3=18.13 \text{ MPa}$

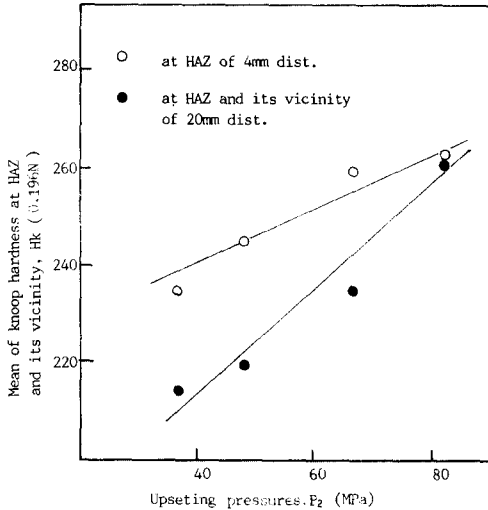


Fig.10 Relationship between mean of hardness at HAZ and its vicinity and upsetting pressures

그 관계식을 구하면 식(3)과 같다.

$$H_{Kmean} = 3.381P_2 + 127.303 \text{ (상관계수 } r=0.95) \quad (3)$$

식(2), (3)에서 P₂를 소거하면

$$H_{Kmean} = -11.822R + 891.527 \quad (4)$$

가 성립한다. 식(4)에서는 경도와 반사계수가 상관성을 가진다는 사실을 알 수 있으며 이 사실과 우리가 일반적으로 알고 있는 경도와 인장강도와의 관계를 결부시켜 본다면 반사계수와 인장강도 사이에도 연관성이 있을 것으로 기대된다.

Fig.9는 각 시험편의 縱方向 중심부를 따라 측정 한 경도치를 나타낸 것이며, Fig.10은 열 영향부와 그 근접부의 평균경도치와 압셋加壓力과의 관계를 圖示한 것이다. 역시 위와 같은 상관성이 존재함을 알 수 있다.

4. 결 론

異種材(알루미늄과 스테인레스鋼)摩擦熔接 이음부에서의 초음파 반사계수와 용접조건(압셋加壓力)과의 관계에 대한 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 異種材 마찰용접 이음부에서의 초음파 反射係數를 펄스反射波法에 의하여 측정 算出할 수 있다.

2) 5 MHz의 비교적 낮은 주파수의 탐촉자를 사용하므로써 시험편의 표면가공 오차를 무시할 수 있다.

3) 알루미늄과 스테인레스의 마찰용접에서는, 용접조건으로 마찰가열시간이나 가열압력을 변수로 하였을 때보다 압셋加壓力을 변수로 하였을 때 반사계수의 변화가 뚜렷하다.

4) 압셋加壓力을 변수로 한 용접조건과 반사계수 사이에는 선형적 상관관계가 있다.

5) 용접이음면에서의 경도치(H_K)와 반사계수(R)와의 상관관계식을 정량적으로 도출할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Thomson, R.B., "Quantitative Ultrasonic Non-destructive Evaluation Methods", Journal of Applied Mechanics, Vol.50, pp.1191-1201, 1983
- 2) Roderick, R.L. and Rohn Truell, "The Measurement Ultrasonic Attenuation in Solids by the Pulse Technique and Some Results in Steel", Journal of Applied Physics, Vol.23, No.2, pp.267-279, 1952
- 3) Shigeo, Z.M., T.U. Yoichiro and N.K. Hiroshi, "Measurement of Dynamic Module of Elasticity of Aluminum Wrought Alloys by Ultrasonic Method", Japan Society of Light Metal, Vol.21, No.12, pp.803-808, 1971
- 4) Bach, F. and V. Askegaard, "General Stress-Velocity Expressions in Acousto-Elasticity", Experimental Mechanics, Vol.15, No.2, 1979
- 5) Wang, K.K. and S. Ahmed, "Ultrasonic Detection of Weld Strength for Dissimilar-Metal Friction Welds", Fourth North American Metal Working Research Conference, pp. 384-389, 1976
- 6) 吳世奎, 金東祚, "超音波에 의한 異種材 摩擦熔接 強度解析 可能性에 관한 研究", 大韓熔接學會誌, Vol.4, NO.2, pp.47-52, 1986
- 7) 摩擦壓接研究會編, "摩擦壓接", コロナ社, pp. 57-58, 1979
- 8) Blessing, G.V., P.P. Bagley and J.E. James, "The Effect of Surface Roughness on Ultrasonic Echo Amplitude in Steel", ASNT. Vol.42, pp. 1389-1392, 1984