

초음파계측에 의한 SPOT용접품질의 비파괴평가

박 익 근*

Nondestructive evaluation of spot weld quality using by ultrasonic measurement

Ik Gun Park*

Key Words : Spot weld quality(점용접품질), Ultrasonic/Nondestructive Evaluation(초음파/비파괴평가; U/NDE), C-scan image(c-스캔화상), Newton ring(뉴턴링), Nugget diameter(너겟 직경), Corona bond(코로나본드), SAM(초음파현미경), Optical microscope(광학현미경).

Abstract

Spot welding has wide use with a high work efficiency in the automotive and aerospace industries. Up to the present, the technique mainly used to test spot welds on production lines has been entirely depended upon destructive chisel or peel testing.

Therefore, it's being very important assignment to secure the NDE technique which can be evaluate spot weld quality with more efficiency and high reliability.

This paper discusses the feasibility of UNDE techniques to evaluate spot weld quality. For the sake of the approach to the quantitative measurement of nugget diameter and the discrimination of the corona bond from nugget, ultrasonic c-scan image and distribution of reflective echo amplitude was measured by immersion method with the mechanical and the electronic scanning of point-focussed ultrasonic beam(25 MHz).

As the results of this study, corona bond which is the most dangerous types of interface defects can be successfully detected, as well as expulsion and voids. Ultrasonic testing results were confirmed and compared by optical microscope and SAM(Scanning Acoustic Microscope) observation of the spot-weld cross section. The results show that the nugget diameter can be successfully measured with the accuracy of 0.8 mm.

* 정회원, 천안공업전문대학 용접과

1. 서언(序言)

자동차 제조라인에서 중형승용차 1대를 생산하기 위해 판금부품조립에 사용되고 있는 스폿(spot)용접의 타점(打点)수는 3,000여점에 달한다고 한다. 이러한 스폿용접부의 접합상태를 비파괴적인 측정 기법에 의해 정량적평가(quantitative evaluation)를 하는 것은 용접제품의 신뢰성 향상이나 품질관리적 측면에서 상당히 중요하다. 특히, 최근에는 생산성 향상을 위한 용접작업의 급속한 로봇(robot)화, 시스템화와 함께 이들 제품의 품질감시를 위한 In-process 전수검사(全數檢査)가 가능한 비파괴검사 전문가시스템(expert system)개발에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 그리고, 정밀부품이나 전자부품의 경우는 정밀화, 미세화와 함께 박판을 대상으로 하는 것이 많고 또, 그 접합부도 전극가압력과 용접열에 의한 변형·손상이나 품질 기능의 열화를 방지하기 위해 용접조건이 더욱 제한되어 너겟(nugget; 용착부)형상은 더욱 작아지는 경향에 있다.

스폿용접시 최적용접조건을 신속한 결정과 재현성이 있는 용접, 즉, 신뢰성이 있는 용접제품을 확보하려면 용접시 용접전류의 변동에 수반하는 너겟면적의 변화를 비파괴적측정에 의해 real time으로 측정이 가능해야 한다. 이것이 가능하게 되면 현재 생산라인에서 생산성 향상과 용접품질의 확보라는 측면에서 용접타점(打点)수를 설계기준의 2-3% 많이 하고 있고, 용접전류도 20% 정도 크게하고 있는 문제를 해결할 수 있어 필요 이상의 여분타점을 없애고, 사용전력 용접공정수의 삭감등을 유도할 수 있을 뿐 만 아니라 종래의 파괴시험에 소요되는 비용과 공정수를 대폭 줄일 수 있다.

용접품질중에서 접합강도에 결정적으로 영향을 미치는 너겟직경의 정량적 비파괴측정기법에 대한 연구보고¹⁻⁴⁾는 매우 적고, 대부분 단면관찰이나 박리시험등에 의한 파괴시험(chisel or peel testing)에 의존하고 있는 것이 현실이다. S.I Rokhlin등⁵⁻⁷⁾은 스폿용접의 접합상태를 Lamb파를 이용하여 평가하고, 이 방법을 In-process측정에 응용하여 너겟의 형성과정을 조사한 바 있고, 西口⁸⁾등은 너겟(직경) 생성시의 물리량 또는 그 변화량에 의해 비파괴적으로 너겟직경을 monitoring하는데 접근하고 있으나 용접재료의 변화(표면처리 강판)나 그 외 많은 제약조건등으로 한계가 있고, 특히, expulsion 발생상

황이나 void의 검출, 너겟 접합계면 주위에 은밀히 존재하는 corona bond(너겟주변에 ring형으로 생기는 고상접합으로 접합강도에 거의 기여하지 못하는 부분)의 식별등에 관한 정보를 얻는 것은 거의 불가능하다.

본 연구에서는 스폿용접 품질감시장치로 In-process 전수검사가 가능한 초음파비파괴평가(UNDE) 전문가시스템(expert system)개발에 필요한 품질보증 기초데이터를 확보하기 위해 스폿용접부를 집중 초음파빔의 2차원 기계주사(mechanical scanning)와 전자주사(electronic scanning)하고 피검체 접합계면 각점에서의 초음파의 반사와 투과상황을 초음파 c-scan 화상과 반사파의 강도분포로 나타내어, 스폿용접부의 너겟형상과 크기, void결함등의 정량적평가와 corona bond의 정확한 식별등에 관한 기초적인 실험적 검토를 하였다. 초음파시험 후 용접시험편을 절단하고, 그 절단면을 초음파현미경(SAM)과 광학현미경의 단면관찰에 의한 측정결과와 확인 비교하였다.

2. 실험장치구성 및 실험방법

2.1 용접실험

스폿용접 품질에 관여하는 요인과 기술요소는 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 상당히 많으나 스폿용접시에 주로 고려되는 인자는 판두께에 따른 용접전류, 통전시간, 전극가압력, 그리고 전극팁(electrode tip)의 선단(先端)형상등이며, 용접시는 이들 인자들의 최적용접조건을 설정하는 것이 매우 중요하다. 대개 생산라인에서는 용접전류 이외의 조건은 AWS나 RWMA (Resistance Welder Manufacture Association)에서 제시하고 있는 용접조건으로 설정한 후 용접전류의 변화만을 관찰해가며 용접제품의 품질관리(QC)를 하고 있다. 그 이유는 용접전류와 너겟면적의 증감은 일정한 비례관계가 있고, 너겟(용착부)면적은 스폿용접 품질에 결정적으로 영향을 미치는 인장전단강도에 거의 비례하는 상관관계를 갖기 때문에, 결국 용접전류의 변동이 용접강도의 편차(deviation)에 가장 큰 영향을 미치기 때문이다.

스폿용접 제품의 품질보증(Quality Assurance; QA)의 향상과 최적용접조건을 신속한 결정등을 위해서는 Fig. 2에서 쉽게 알 수 있듯이 너겟 접합계면

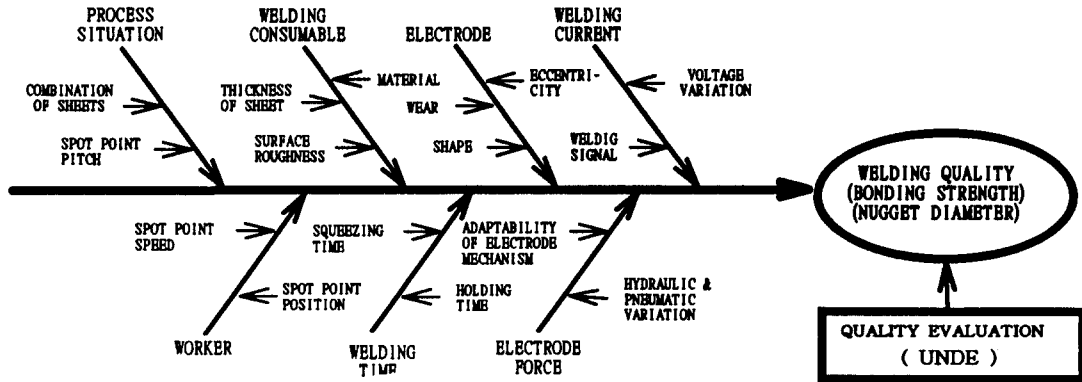


Fig.1 Various factors concerned in spot weld quality

주위에 은밀히 존재하는 링(ring)형의 고상접합으로 접합강도에 거의 기여를 하지 못하는 corona bond부의 명확한 식별에 의한 너겟직경의 정량적측정과 expulsion, void 등의 발생상황을 아는 일이다.

이러한 문제점의 해결에 접근하기 위해 본 실험에 사용할 용접시험편의 제작은 먼저 RWMA에서 제시하고 있는 용접조건에 의해 용접전류, 전극가압력, 통전시간등을 최적조건(optimal condition)상태에 가깝게 설정하고 스폿용접 통전시 expulsion 발생의 유무와 용접부 외관검사에 의해 최적용접조건의 적부를 판단하였다.

본 실험에 사용한 용접시험편은 현재 자동차 제조라인에서 판금부품으로 실제 많이 활용되고 있는 판두께 1.6 mm의 냉간압연강판(SPCC ; 시험편번호 S11/S55)과 연강에 비해 내식성과 용접성(weldability)이 우수한 판두께 1.0 mm의 용융아연도금강판(galvanized steel ; 시험편번호 G11/G54)을 각 용접조건 마다 5개씩 사용하였으며, 전극팁은 선단경(先端徑) 6.0mm의 D형 수냉식이며, 시험편 제작에 사용된 용접조건은 Table 1과 같이 생산라인에서 주로 발생이 되고 있는 용접전류의 변동에 수반되는 너겟면적의 변화와 corona bond의 발생이 용이한 용접조건을 설정하여 시험편을 채취하였다. Table 1에서 아연도금강판의 용접조건은 동일한 판두께의 연강판 보다 용접전류, 전극가압력 모두 25-50 % 정도 크고, 통전시간도 연강판의 RWMA B-class 정도의 통전시간을 선택한 이유는 아연도금강판의 연속 스폿타입시 전극과 아연의 합금화 진행으로 인한 전극부와 아연도금강판의 접촉면적의 증가가 생길 경우 전류밀도의 저하로 인한 용접강도의 급격한 저하의

발생을 고려한 것이다.

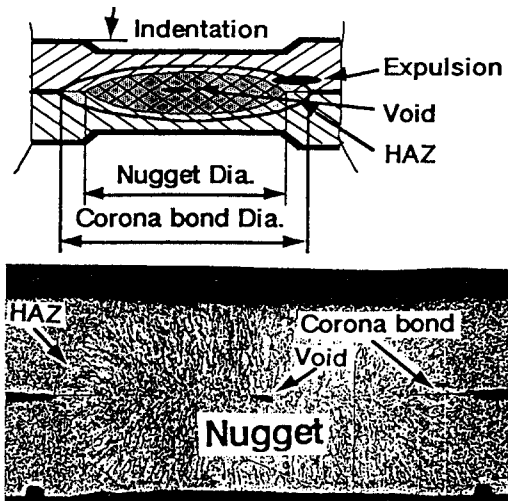


Fig.2 Schematic illustration of spot weld cross section

Table 1 Welding condition

Speimen	Electrode force(kg)	Weld ime (cycle)	Weld current (KA)
S11/15	360	16	11.5
S21/25	360	16	8.6
S31/35	360	16	8.0
S41/45	360	16	7.0
S51/55	400	16	13.0
G11/15	295	13	14.0
G21/25	295	13	11.0
G31/35	295	13	8.0
G41/45	295	13	6.0
G51/55	300	13	16.0

2.2 초음파탐상시험

스폿용접 시험편에 대한 초음파시험에 앞서 너겟 직경의 정량적평가와 corona bond의 식별에 최적한 시험조건및 방법에 접근하기 위해 뉴우톤링(newton ring)의 미소간극에서의 반사초음파의 발생현상에 관한 실험적 검토를 시도하였다.접합계면에서 초음파의 반사거동해석을 위한 접합계면모델은 스폿용접부의 corona bond로 간주할 수 있는 미소간극을 갖는 뉴우톤링을 사용하였다.

실험에 사용한 뉴우톤링은 Fig. 3의 구조를 하며, 평행평판글라스(glass block;50×50×5mm)와 구면형(球面平)볼록렌즈(plano-convex ; 곡률반경 $R_L=460$ mm) 모두 석영(石英)글라스(밀도 $\rho=2.4 \cdot 10^3$ kg/m³, 음속 $c=5420$ m/s, 음향임피던스 $Z=14.5 \cdot 10^6$ kg/m²s)이다.

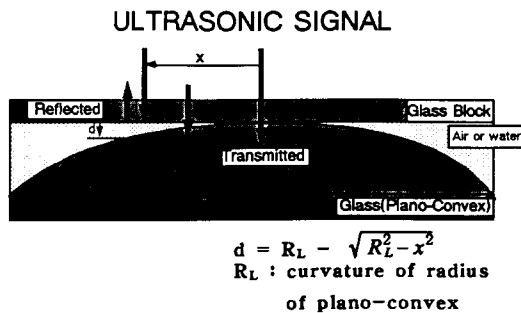


Fig.3 Configuration of newton ring

Fig.3에서 미소간극의 박리계면에서는 완전반사를 하며 반사파는 입사파에 대해 위상이 180° 반전되고 진폭도 크기 때문에 위상의 판정이나 진폭측정등의 방법으로부터 접합과 박리등의 계면해석이 가능하다.

이에대해 미소간극에 물등이 침투하여 존재하는 계면모델의 경우는 음파의 파장에 비해 미소간극이 작으면 반사파는 간섭파로 존재하고, 음압반사율(에코높이)은 미소간극의 크기와 초음파의 파장(주파수)에 따라 변화하게 된다.

Fig.4는 본 실험에 사용한 실험장치로 기계주사(mechanical scanning)형 초음파탐사(探査)영상장치(AT 7000 ; HITACHI)를 사용하였으며 Fig.4은 그 개략도이다.

본 장치는 초음파탐상기,집집속형탐촉자(freque-

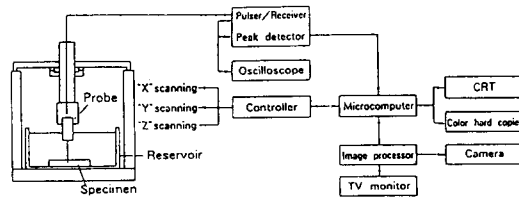


Fig.4 Configuration of mechanical scanning AT system

ncy:fr=25 MHz,Dia.: $D=6.35$ mm, focal length in water: $F=20$ mm), 탐촉자를 주사하는 주사장치(scanner)등으로 구성되어 있다.본 실험에 사용할 초음파탐촉자의 주파수선택에 관해서는 수중(水中)에서의 집속초음파의 빔직경(beam diameter at focal point)은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$d_6 = 0.71 \times \frac{\lambda \cdot F}{(D/2)}$$

여기서, $\lambda=C/f$ 의 관계를 윗식에 대입하면 수중에서의 빔직경은 주파수에 반비례함을 알 수 있다. 즉, 저주파수성분에서의 빔직경은 고주파수성분에서의 빔직경에 비해 크다. 따라서 본 실험에서는 고주파수의 감쇠(attenuation)효과와 저주파수의 빔직경의 영향을 고려하여 25 MHz의 시험주파수를 선정하였다.

실험방법으로는 오실로스코프상에 표면반사파와 분리되어 관측되는 다중반사파를 발생시키기 위해 X, Y,Z scanner controller에 의해 평행평판글라스의 저면에 초점을 설정하고 B₁ echo에 peak detector의 게이트를 걸어 게이트 내 신호의 peak값을 검출하고 이것을 A/D변환(12bit)하여 화상입출력장치의 메모리에 기억시키고 이 디지털값을 D/A변환기로 모니터 TV.상에 의사화상으로 나타낸다. 초점이 정확히 설정되면 scanner의 Z방향 위치를 일정하게하고 X, Y 방향으로 주사하면 접합계면부분의 2차원화상(c-scan image)을 얻을 수 있고 화상입출력장치(화상표시 dot 256×240×8bit)에 의한 휘도차를 이용하면 미소간극 부분에서 반사파의 존재유무를 알 수 있다. 그리고, 파형기억장치에 송신된 전기신호는 GPIB를 거쳐 퍼스컴에 송신 기억되어 각종의 신호해석을 하게 된다. 그리고, 미소간극부에서 반사파를 효율적으로 발생시키기 위한 수단으로 탐촉자 인가펄스 변화와의 상관관계를 조사하였다. 그 이유는 탐촉자 인가펄스전압에 의해 생기는 초음파는 에너지를 가지며 이 초음파가 매질내에 가해져 미소간극에 도달하면 매질의 입자는 변위를 하게 되고 그 변위의 정도는 탐촉자 인가펄

스전압에 거의 비례관계를 갖기 때문이다.

따라서, 본 실험에서는 송신펄스전압을 350, 200, 50 V로 변화시켜 가며 c-scan 화상에서 접촉부를 중심으로 나타나는 뉴우튼링의 동심원 크기를 관찰하였다.

뉴우튼 링에 의해 최적시험조건이 결정되면 시험체만 스폿용접시험편으로 바꾸어 동일한 시험방법에 의해 오실로스코프상에 표면반사파와 분리되어 관측되는 다중반사파를 발생시키고, X, Y, Z scanner controller에 의해 Fig.5와 같이 피용접재의 경계면(상부 시험편 저면반사파: B₁ echo, 하부 시험편 저면반사파: B₂ echo)에 초점을 설정하고 B₁ echo 및 B₂ echo에 게이트를 걸어 뉴우튼링과 동일한 시험방법으로 c-scan 화상과 반사파의 수신강도를 얻고 스폿용접 접합계면의 비파괴평가 해석을 시도하였다.

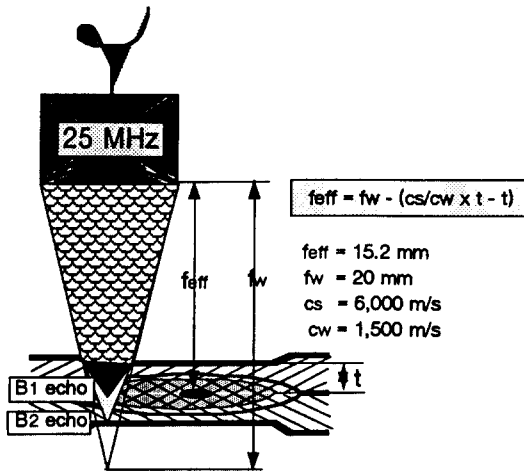


Fig.5 Schematic illustration of focus setting for B1 and B2 echo detection

Fig.6는 스폿용접의 품질평가를 위한 In-process 전수검사가 가능한 초음파비파괴평가 전문가시스템(expert system)개발에 필요한 품질보증 데이터 확보의 가능성여부를 확인하기 위해 수행한 전자주사(電子走査; electronic Scanning)식 초음파영상장치의 개략도이다.

본 실험에서는 Fig.7, Fig.8에서와 같이 0.2 mm pitch로 192 소자배열을 갖는 Array탐촉자(frequency: 25 MHz, focal length: 15 mm)를 사용하고 이 내부에 연속하는 24소자를 동시 여자소자수로 순차 선택하여 초음파빔의 송수신 및 주사(scanning area 25×25mm)

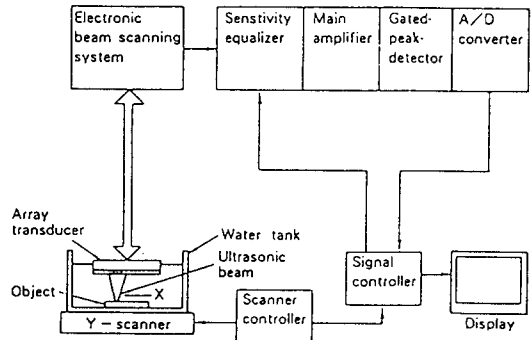


Fig.6 Block diagram of electronic scanning imaging system

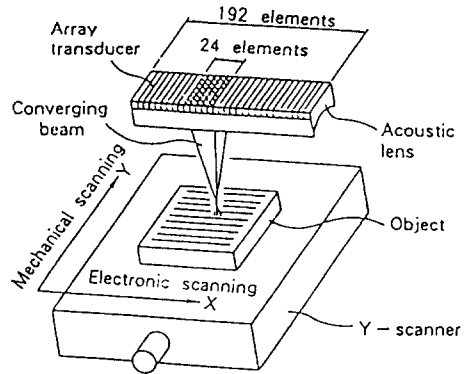


Fig.7 C-scan mode with electroic Fig.8 Appearance of the scanning array transducer

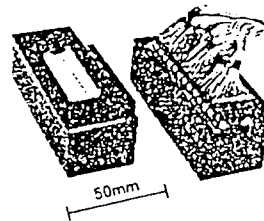


Fig.8 Configuration of scanning acoustic microscopic system

를 한다. 초음파빔의 집속은 Array소자의 배열방향(X)은 전자적인 지연제어에 의한 집속을 하고, 이것과 직교하는 방향(Y)은 음향렌즈에 의한 집속을 각각 하여 집속빔을 형성시킨다. 전자주사시의 각 channel간에는 2~3 dB의 감도차가 생기지만 equalizer회로에 의해 0.5 dB이내로 평균화된다.

스폿용접 너깃부분의 초음파 C-Scan화상을 얻기 위해서는 기계주사의 경우와 유사한 방법으로 X방향

은 Array탐촉자에 의한 전자주사, Y 방향은 피검사체 이동에 의한 기계주사를 하고 Y방향의 일직선 이동과 함께 real time으로 c-scan 화상을 관찰해 가며 초점을 정확히 설정하고 c-scan 화상데이터를 채취한다. 전자주사탐상방법은 거리분해능이나 방위분해능 면에서는 탐상결과가 다소 떨어지지만 주사속도가 기계적주사(100 Sec.)보다 전자주사(0.8 Sec.)가 월등히 빠른 장점을 가지고 있다.

Fig.9는 초음파시험 후 시험결과와의 확인을 위해 시험편을 절단하고 그 절단면의 단면관찰을 위해 본 실험에 사용한 초음파현미경(Scanning Acoustic Microscope : SAM)의 개략도이다. SAM은 수십 MHz에서 GHz 단위의 고주파수의 음파를 시료에 조사하고 물질의 마이크로(micro)영역에서의 역학적 성질의 변화를 화상으로 표시하여 광이나 전자선의 도달이 불가능한 표면적하(Subsurface)의 결함이나 조직관찰이 가능하다.

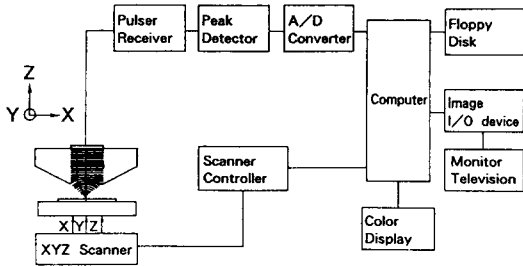


Fig.9 Configuration of scanning acoustic microscopic system

본 실험에서는 음향렌즈의 재료로 사파이어를 사용한 초음파탐촉자(frequency : 400 MHz)를 사용하였으며, 광학현미경의 단면관찰 시험이 끝난 시험편을 먼저 시험체 표면에 초점을 설정한 후 주사시에는 시료표면으로부터 20 μm깊이에 최종 초점을 설정한 후 X 방향으로 1200 μm Pitch로 화상데이터를 채취하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.10은 뉴우튼링의 미소간극부에서 초음파의 반사거동 및 변위해석을 위해 탐촉자 인가펄스전압의 변화에 의한 미소간극과 에코높이와의 상관관계를 c-scan화상으로 나타내고 있다. 뉴우튼링의 평행평판 글라스와 평볼록렌즈계면에 간극이 0의 경우(접합부

분)는 반사파는 존재하지않고 통과파만 존재하여 음압반사율은 0이 되어 c-scan화상에서는 echo level이 가장 낮은 green color로 나타난다. 이 부분이 스폿용접의 경우에는 너겟으로 생각할 수 있고 이 부분의 면적과 실제 너겟의 면적이 정량적인 관계를 가질 수 있는 최적시험조건 및 방법의 설정이 중요하게 된다. 그리고, 접촉점으로부터 멀어질수록 미소간극량이 증가하고 일정영역범위에서 에코높이의 변화에 의한 일정한 간섭파장을 가지며 동심원을 그리는 부분이 존재하게 된다. 이 부분은 스폿용접의 경우 corona bond로 생각할 수 있고 이 부분의 미소간극량부터는 반사파가 존재하기 때문에 초음파에 의한 정보를 활용할 수 있다.

탐촉자 인가펄스전압이 높은 경우(350V)가 c-scan 화상에서 green color의 면적이 크게 나타나 초음파 인가펄스전압이 높을수록 초음파에너지에 의한 매질 입자의 변위가 커서 미소간극은 형성되지 않고 접촉해버려서 초음파는 반사하지 못하고 쉽게 통과함을 알 수 있다.

따라서, 탐촉자 인가펄스전압을 최대한 낮게(50V) 하고 c-scan화상의 기준echo level이 saturation되지 않는 범위 내에서 수신부의 게인을 최대한 높게하여 측정하는 것을 최적 시험조건으로 하였다.

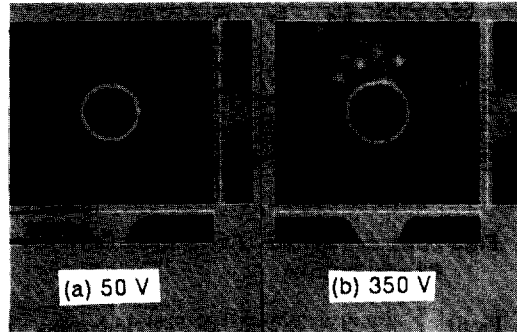


Fig.10 Mechanical c-scan image of newton ring (a)50V (b)350V

스폿용접 품질평가는 뉴우튼링을 이용한 간극모델 실험을 통해 결정된 최적시험조건과 방법으로 Fig.11과 같이 스폿용접부 시험편의 mechanical c-scan 화상(c)와 반사파의 수신강도분포(b) 측정에 의한다. 접촉탐촉자로부터 송신된 초음파는 경계면이나 접합계면에서 초점이 정확히 설정되어 집중된 상태일 때 반사파는 가장 높은 반사echo level을 갖게된다. 즉,

반사파의 echo level(최대치 255에서 0까지)를 red blue의 color contrast를 갖게하고 이 중 너겟부분은 반사파의 신호가 거의 존재하지 않기 때문에 echo level이 가장 낮은 blue color로 표시되고 비용착부와 void등은 echo level이 높은 red color로 표시된다.또, 중간 정도의 echo level부분(green or yellow color)은 corona bond부로 추정할 수 있다.

Fig.11(c)의 c-scan 화상으로부터 너겟의 형상판별, 너겟직경, void의 존재유무, corona bond부의 식별등이 가능함을 알 수 있고, 너겟직경의 측정은 반사파의 수신강도분포(b)와 c-scan 화상(c)의 A-B거리의 측정에 의하여, 스폿용접부의 접합영역에는 모재가 완전히 용융하여 강도가 확보되는 너겟부와 너겟부 주변에 고상접합하여 접합강도에 거의 기여하지 못하는 기계적접합인 corona bond부(cold bond, stick bond, kissing bond, solid state bond라고도 함)가 존재하여 건전한 스폿용접의 경우는 접합부는 너겟부와 극히 일부분의 corona bond부로 형성되지만 용접입열이 적은 경우에는 너겟면적이 줄어들고 corona bond부의 영역이 넓어진다. c-scan 화상에서 corona bond로 추정되는 접합경계부는 너겟부분에서부터 에코높이가 증가경향으로 변화하는 패턴을 가지고 이것은 접합상태가 변하고 있음을 쉽게 알 수가 있다.

그리고, Fig.11의 상부(a)의 사진은 c-scan 화상과 강도분포측정 후 용접시험편을 절단하고 그 절단면을 광학현미경(배율 25배)으로 관찰한 조직사진으로 초음파시험 측정결과와 확인 비교한 일례이다.

Fig.12와 Fig.13은 mechanical scanning과 electronic scanning에 의한 c-scan 화상을 나타내며, (a) S12 시험편의 경우는 용접전류, 통전시간, 전극가압력등이 최적상태한 경우로 접합영역에 모재가 완전히 용융한 너겟이 형성된 것을 알 수 있고, (b) S42 시험편의 경우는 너겟은 거의 형성되지 않고 미소한 접합이 점재(点在)하는 corona bond부가 상당히 넓게 존재함을 알 수 있다. 이러한 경우는 용접조건이 전혀 맞지않을 때, 즉, 전류를 일정하게 하고 전극가압력을 증대하든가, 아니면 전극가압력과 통전시간을 일정하게 하고 공급 전류가 매우 낮을 때 주로 발생하는 패턴이다.

Fig.12에서 electronic scanning에 의해 스폿용접부를 영상화한 c-scan 화상은 mechanical scanning의 경우와 거의 유사한 화상을 나타내고 있다. 이 electronic scanning에 의한 상(像)형성시간은 약 0.8 sec로 real time으로 측정이 가능하여 앞으로 생산라인에서 용

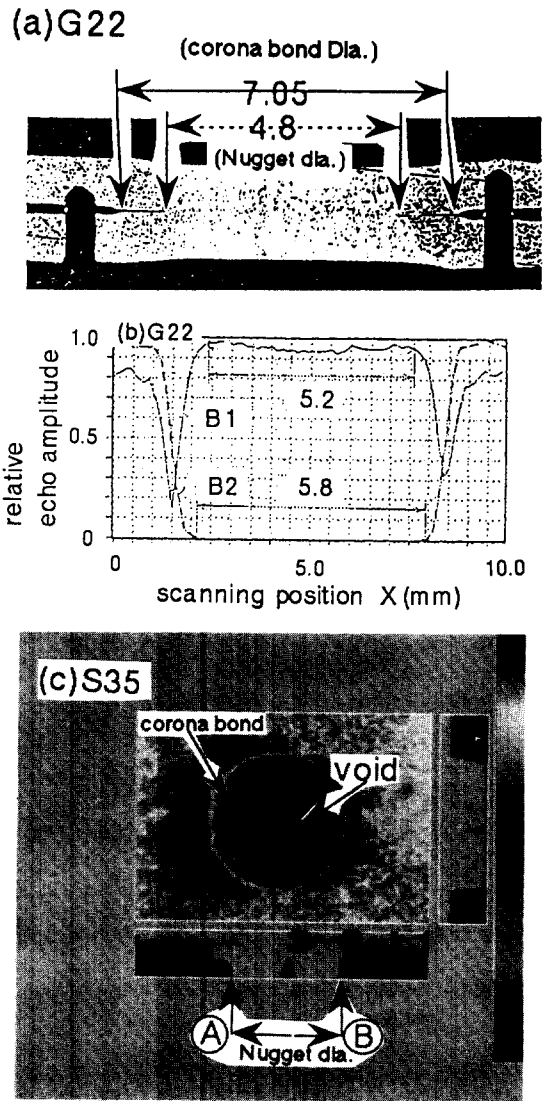


Fig.11 UNDE techniques of spot weld quality
 (a) optical microscope of the weld cross section
 (b) distribution of reflective echo amplitude
 (c) c-scan image

접로봇에 탐촉자를 탑재하여 스폿용접 품질평가를 위한 초음파 비파괴평가 전문가시스템으로의 전환이 충분히 가능함을 알 수 있다.

Fig.13은 아연도금강판의 mechanical c-scan 화상으로 공급전류가 부족한 (a)G42, (b)G32 시험편의 경우는 아연도금의 영향으로 인해 냉간압연강판에 비해

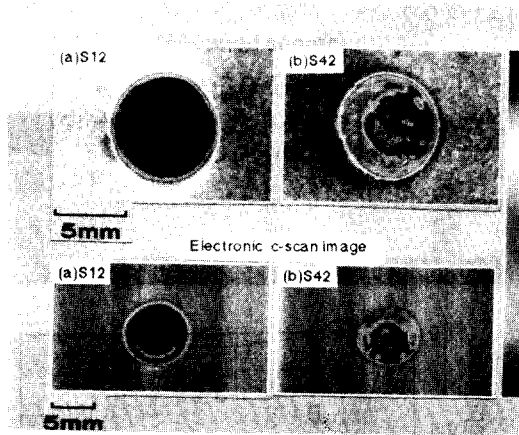


Fig.12 Mechanical and electronic c-scan image of spot welds

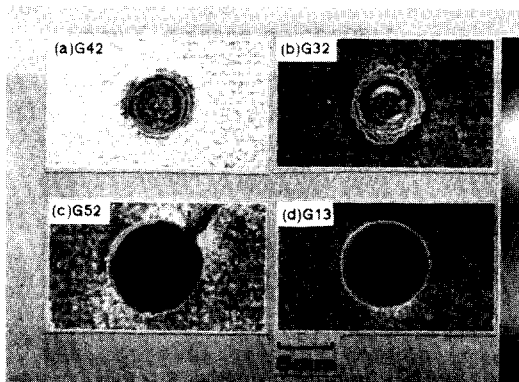


Fig.13 Mechanical c-scan image of spot welds (galvanized steel)

너겟주변에 corona bond부가 상당히 넓게 존재함을 알 수 있고, (c)52시험편의 경우는 용접전류의 과잉 공급으로 expulsion이 발생한 예를 나타내고 있다.

Fig.14는 초음파측정을 한 후 용접시험편을 일정한 방향으로 절단하고 절단면을 광학현미경(배율100배)과 SAM(배율 53배)에 의해 관찰한 조직사진 결과이다. 조직사진에서 확인된 너겟내부에 존재하는 void크기의 검출한계는 마이크로메타가 부착된 광학현미경에 의한 확인 결과 10μm 였다.

Fig.15는 각 시험편에 대해 너겟크기와 corona bond부 식별을 위한 초음파시험결과와 절단면의 광학현미경과 SAM에 의한 조직사진 결과와의 비교를 나타내고 있다. 너겟크기는 초음파측정에 의한 경우가

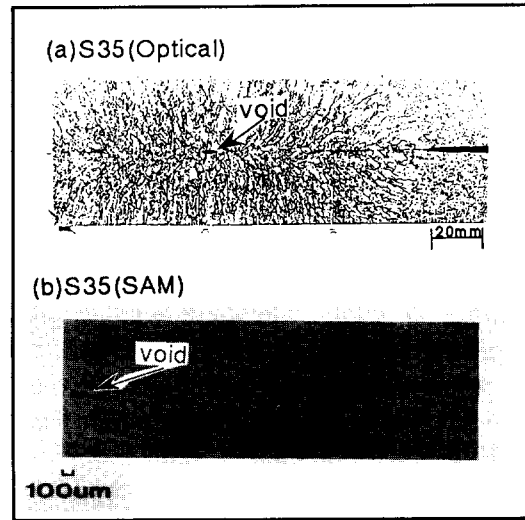


Fig.14 Optical microscope and SAM observation of the spot-weld cross section

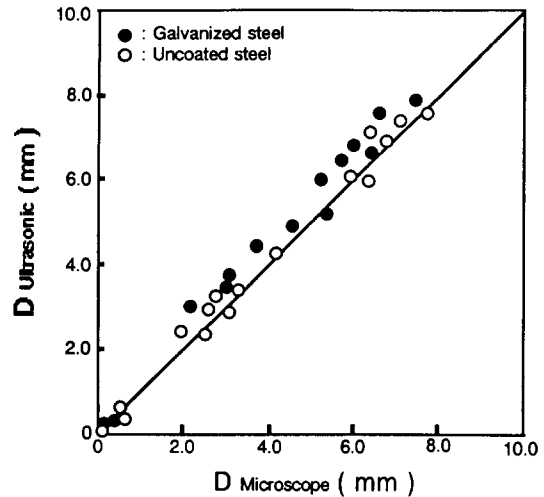


Fig.15 Comparison of nugget diameter between ultrasonic testing and microscopic measurement of the spot-weld cross section

조직사진 관찰의 경우 보다 최대 0.8 mm정도 크게 측정되지만 양자는 비교적 잘 일치하고 있다. 그리고, 아연도금강판의 초음파시험결과가 냉간압연강판의 경우에 비해 너겟의 직경이 대체로 크게 측정됨을 알 수 있다. 그 이유는 너겟주변에 밀접히 형성된 아연도금의 영향으로 corona bond 부분이 넓게 존재하여

이 corona bond부분의 일부에서 초음파가 통과함에 기인한다.

4. 결론(結言)

각종 용접조건으로 접합된 스폿용접부에 집속초음파빔(25 MHz)의 mechanical scanning과 electronic scanning에 의한 초음파 c-scan 화상과 반사파의 강도분포를 측정하여 스폿용접 품질의 비파괴적 진단 평가에 관한 실험적 검토를 하였다. 본 연구를 통해 얻어진 주된 결과는 다음과 같다.

1) 초음파 c-scan 화상과 반사파의 수신강도분포로부터 너겟의 형성 상태, 크기, 너겟내부에 존재하는 void, expulsion 등의 비파괴적 진단 평가에 의해 스폿용접의 품질평가가 가능하였다.

2) 초음파시험 후 용접시험편을 절단하여 그 절단면을 초음파현미경 (SAM)과 광학현미경의 단면조직 관찰에 의한 측정결과와 확인 비교한 결과 너겟직경의 측정정도(精度)는 0.8mm로 양자는 비교적 잘 일치하였다.

3) 초음파 c-scan화상과 echo level분포에서 너겟주변의 가장자리 일부에 휘도의 차가 발생하는 부분은 corona bond부에 해당함을 알 수 있으며, 아연도금강판의 경우는 너겟주변에 밀접히 형성된 도금의 영향으로 corona bond부분이 넓게 존재함을 알 수 있었다.

이상의 연구결과로부터 제시된 앞으로의 연구과제로는 corona bond의 명확한 식별을 통한 너겟직경의 정량적평가가 가능한 초음파비파괴평가기법을 확립하는 것이다. 즉, 초음파 c-scan 화상데이터의 각종 화상처리기술(stretching, logarithmical scaling, 2차화상등)의 적용등에 관한 연구검토가 요망된다. 이것이 실현되면 앞으로 개발예정인 스폿용접 품질평가를 위한 In-process 전수검사(全數檢査)가 가능한 비파괴검사 전문가시스템(expert system)개발의 실용 데이터베이스(database)자료로 충분히 활용 가능할 것이다.

후 기

이상의 연구결과는 한국과학재단지원 해외연구 연구과제 내용의 일부로 본 연구에 협력하여주신 일본 대학 생산공학부 화상 정보계연구실 山田 博章교수, 히타치 기술연구소 첨단비파괴계측시스템 연구개발부의 佐佐木 壯二 박사, 그리고 시험편의 제작에 적극 협력하여 주신 일본도요타자동차 계측연구부 연구원 여러분께 이 지면을 통해 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 里中 忍 他：超音波によるスポット溶接部の品質評價, 溶接學會論文集, 第10卷 第4號, (1992), pp 39-46.
2. 小倉,富田：超音波によるスポット溶接部のナケット寸法測定法, 非破壊検査, 34-9A(1985), pp 628-629.
3. F.Bendec, M.Peretz and S.I.Rokhlin : Ultrasonic Lamb wave method for sizing of spot welds, Ultrasonics, March, (1984), pp 78-84.
4. 里中 忍 他：畫像表示によるスポット溶接部の超音波測定, 溶接學會 論文集, 第7卷 第3號, 1989, pp 112-116.
5. S.I.Rokhlin, R.S.Mayhan, and L.Adler : On-Line Ultrasonic Lamb Wave Monitoring of Spot Welds, Materials Evaluation, Vol.43, No.7, June (1985), pp 879-883.
6. S. I. Rokhlin, S.Meng, and L.Adler : In-Process Ultrasonic Evaluation of Spot Welds, Materials Evaluation, Vol.47, No.7, August (1989), pp 935-943.
7. S. I. Rokhlin, and L.Adler : Ultrasonic Evaluation of Spot Weld Quality, Welding Journal, Research Supplement, Vol.64, No.7, July (1985), pp 191-200.
8. 西口公之, 松山欽一：數値計算モデルを利用下手以降スポット溶接用 ナケット モニタリングシステムについて(第4報), 溶接學會講演概要集, No.48, (1991).