연 구 논 문

페라이트계 스테인리스강 / 용융아연도금강 이종 저항 점용접부의 특성

김정길* · 우인수* · 정보영* · 이종봉*

*POSCO 기술연구소

Resistance Spot Weldability of Ferritic Stainless Steel and Galvanized Steel

Jeong-Kil Kim*, In-Su Woo*, Boyoung Jeong* and Jong-Bong Lee*

*POSCO Technical Research Lab., Pohang 790-785, Korea

Abstract

A ferritic stainless steel, STS430, and a galvanized steel for case and frame of electronic goods are welded by resistance spot welding and resistance projection welding methods.

In this study, resistance spot welding has been performed to investigate the weldability of dissimilar materials such as a ferritic stainless steel and a galvanized steel.

Tensile load of the spot weld without heat treatment was 196 kN and brittle fracture occurred at interface between STS430 and nugget due to the high hardness, 380 Hv, in nugget. It was found that the hardness of as-welded nugget increased with higher cooling rate during resistance spot welding by comparing with GTA weld of same materials. Heat treatment by applying second current made nugget softened. Tensile load of heat treated weld increased and reached to 303 kN and fracture occurred at base metal, a galvanized steel.

*Corresponding author : jkkim95@posco.com (Received November 8, 2006)

Key Words : Resistance spot welding, Ferritic stainless steel, Galvanized steel, Nugget

1. 서 론

STS430은 Cr을 약 16 % 함유하는 페라이트계 스테인리스강종으로써, 오스테나이트계 스테인리강 대비 상대적으로 낮은 가격과 우수한 내식성, 심가공특성 그리고 표면품질 등을 특징으로 한다.

또한 용융아연도금강판 (GI : Galvanized steel)은 탄소강에 용융아연도금공정을 거쳐 생산되는 강재로써, 우수한 내식성 및 표면품질 등이 그 특징이다. 이들 강재들은 전술한 특성들 때문에 그 사용량이 증가되고 있는 추세이며, 특히 전자레인지, 세탁기, 냉장고와 같은 가전제품의 외판재로 널리 사용되고 있다.

가전제품의 생산라인에서 STS430과 용융아연도금강판 이종재료간의 조립공정에는 주로 저항 점용접(Resistance spot welding)과 저항 프로젝션 용접(Resistance projection welding)이 적용되고 있다. 이러한 저항 용접부에 대한 요구특성으로는 용접부의 인장강도, 용접부 외관품질, 연속타점 전극수명 등이 있으며, 그 중 특히 제품의 내구성과 수명에 직결되는 용접부 인장강도는 엄격히 관리되는 품질특성 중 하나이다.

따라서 본 연구에서는 전자레인지 외판재로 사용되고 있는 STS430과 용융아연도금강판의 저항 점용접 특성을 조사하였으며, 특히 용접을 위한 1단 통전완료 후 용접부 열처리를 위해 실시하는 2단 통전이 용접부의 미세조직 및 인장강도에 미치는 영향에 대해서 검토하였다. 또한, 저항 점용접보다 냉각속도가 느린 GTAW로 두 이종재료를 맞대기 용접하여 용접특성에 미치는 냉각속도에 대한 영향을 검토하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 페라이트계 스테인리스강은 Cr을

약 16 %, C를 약 0.04 %함유한 STS430이다. STS 430과 용융아연도금강판의 기계적 특성은 표 1과 같다.

저항 점 용접은 최대출력 220 kVA, 최대전류 27 kA, 최대 가압력 7.84 kN 사양의 AC type 저항 점 용접기를 사용하여 겹치기 용접을 실시하였으며, 전극은 Dome형태의 KS B ISO 5184 F type Cu-Cr전극을 사용하였다.

용접조건은 가압력을 2.25 ~ 2.45 kN 으로 변화시켰으며, 용접 즉 너깃형성을 위한 위한 1단 통전전류를 4 ~ 6 kA (통전시간 7 cycle), 열처리를 위한 2단 통전전류를 5 ~ 9.5 kA (2nd current, 통전시간 11 cycle)로 변화시켰다. 그림 1에 본 연구의 용접 파라메터 운용 모식도를 나타내었다.

표 1. Mechanical properties of STS430 and galvanized steel

Materials	Tickness (mm)	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	El. (%)
STS430	0.5	290	460	30
Galcanized Steel	0.6	170	280	50

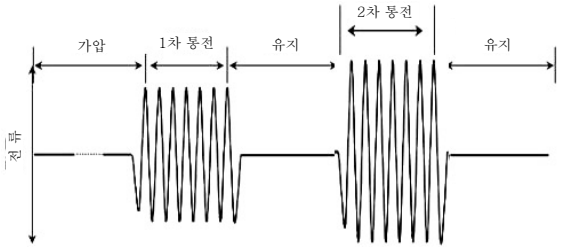


Fig. 1 Schematic diagram of spot welding

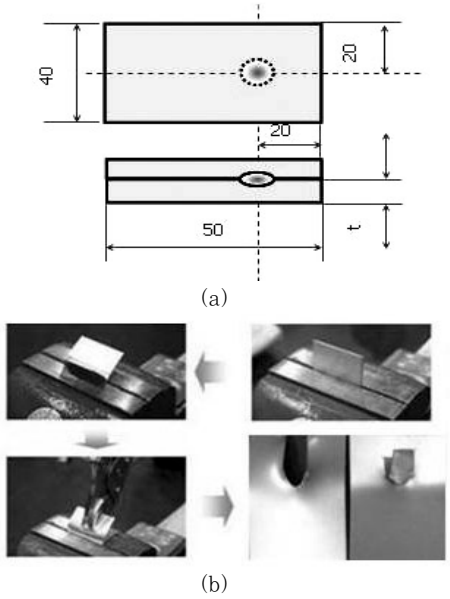


Fig. 2 Schematic drawings of specimen for peel test (a) and test method (b)

저항 점 용접과의 비교를 위해 실시한 GTA용접조건은, 보호가스를 Ar (유량 15 l/min), 용접전류를 20 A, 용접속도는 0.32 m/min으로 하였다.

용접부 미세조직은 Viller용액 (피크린산 3 g+염산 3 ml + 에탄올 100 ml)을 사용하여 약 3분간 부식시킨 후 광학현미경(OM) 및 주사식 전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 본 용접 전 적정용접조건 도출을 위해서는 Peel test법을 이용하였으며, 용접부의 기계적 특성은 미소경도측정 및 인장시험을 통해 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 4는 STS430과 용융아연도금강판 이종 용접의 경우와 용융아연도금강판간 동종 용접을 했을 경우 적정용접조건범위를 측정, 비교한 결과이다. 평가는 일반적으로 저항 점 용접의 용접조건 도출 시 사용되는 용접부 peel test를 실시하였으며, 평가 후 모재에서 파단이 발생되는 조건을 적정용접조건으로 하였다.

이종용접의 경우 동종에 비해 모든 가압력범위 전체적으로 전류값이 낮으며, 또한 적정전류범위가 좁은 것을 볼 수 있다.

그림 5는 가압력을 2.45 kN, 용접전류를 6 kA로 하여 용접한 점용접부의 마크로조직을 보여주고 있으며, STS430과 도금강판이 용융되어 형성된 너깃이 관

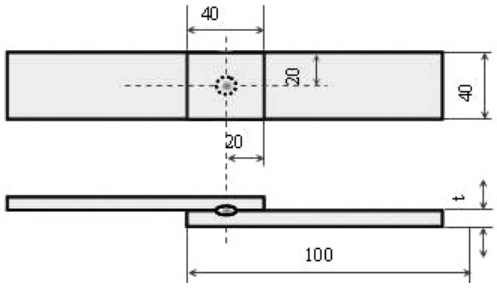


Fig. 3 Schematic drawings of specimen for tensile test

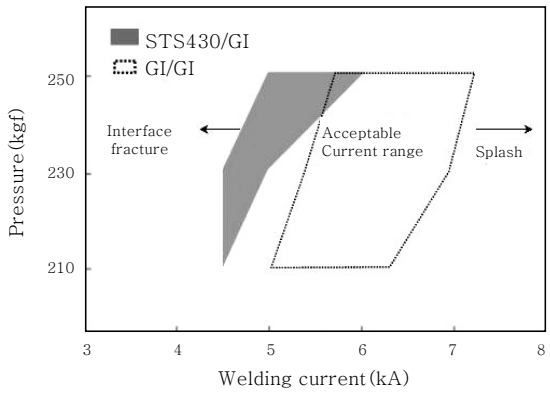


Fig. 4 Acceptable current range of STS430 and galvanized steel

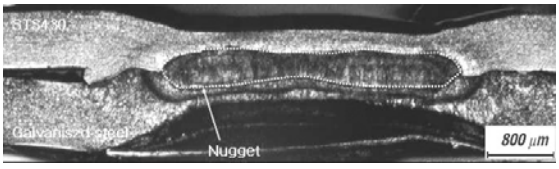


Fig. 5 Macrostructure of spot weld between STS 430 and galvanized steel

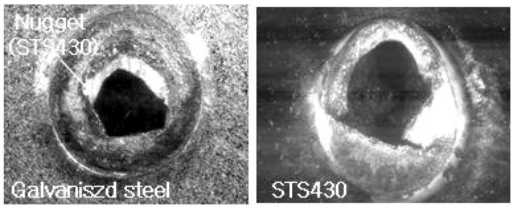
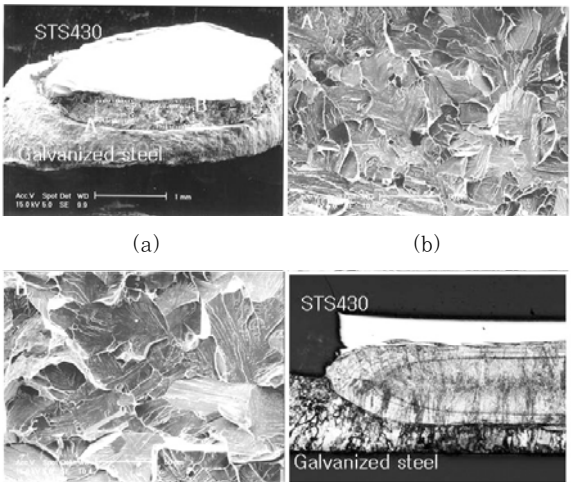


Fig. 6 Appearance of tensile specimen tested

찰된다.

그림 6은 동일한 용접조건으로 제작한 인장시험편을 시험 후 그 외관을 관찰한 것이다. STS430 모재에서 파단이 일어난 것을 알 수 있으며 파단 시 인장하중은 1.96 kN 정도로, 용융아연도금강판의 인장강도를 고려했을 때 낮은 값이었다.

점용접부의 파단형상을 분석하기 위해 파단면을 주사식 전자현미경으로 관찰하였고, 그 단면을 광학현미경으로 관찰하였다. 관찰결과는 그림 7과 같다. 점 용접부의 파단면은 거의 취성파면으로 이루어져 있는 것을 알 수 있으며, 그 파단부 부근의 단면 광학현미경으로 관찰한 결과 취성파단은 너깃과 STS430 모재의 경계에서 일어난 것임을 알 수 있다.



(a) (b)

(c) (d)

Fig. 7 SEM fractographs and optical micro structure of cross section : (a) fracture facet, (b) A region on (a), (c) B region on (a), (d) Optical microstructure of cross - section

그림 8은 용접부의 미소경도분포를 측정한 결과로서, STS430 모재의 경우 경도가 약 175 Hv인 것에 비해, 너깃과 열영향부의 경도가 상승해 있는 것을 볼 수 있다.

또한 너깃에서 멀리 떨어질수록 열영향부의 경도는 감소한다. 특히 너깃의 경도는 약 390 Hv정도로 경도가 매우 높으며, 이러한 너깃부의 급격한 경도 상승이 취성파괴의 원인으로 판단된다. 그림 9는 As-welded 상태인 너깃의 미세조직은 광학현미경과 주사식 전자현미경으로 관찰한 결과로써, 상당히 빠른속도로 응고된 조직인 것을 알 수 있다.

그림 10은 C 0.04 %일 경우의 평형 Fe-Cr 상태도이다. 따라서 Cr를 16 %함유한 STS430의 경우 Line A를 따라 응고하게 된다.

약 900 ~ 1250 ℃의 온도 구간에서 페라이트와 오스테나이트의 2상 영역이 존재하는 것을 알 수 있으며, 냉각속도가 아주 느린 경우에는 이 영역에서 존재하던 오스테나이트가 페라이트로 모두 변태하여 상온의 STS430 모재내에서는 페라이트이외의 조직은 관찰할 수 없다. 하지만 반대로 이 구간에서 빠른 속도로 냉각이 일어날 경우, 일부 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하여 STS430동종 저항 용접시에도 너깃 내에는 일부 마르텐사이트가 존재할 것으로 예상된다. 그러나 본 연구와 같이 STS430과 탄소강의 이종용접 너깃의 경우에는 Cr의 함유량이 원모재 STS430에 비해 감소하게 되므로 Line B를 따라서 응고된다고 가정할 수

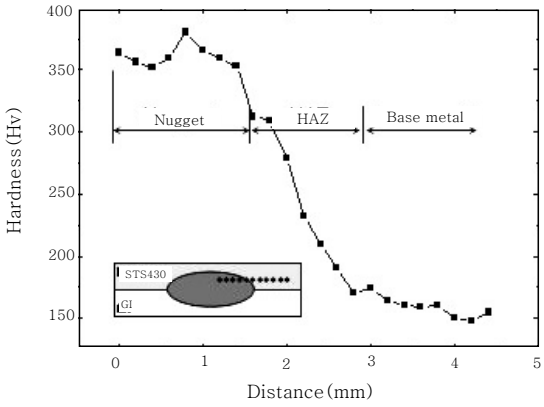
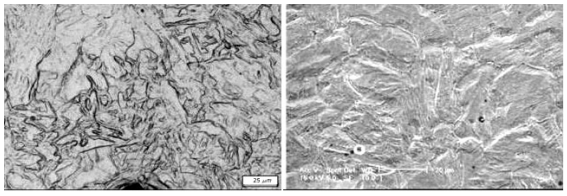


Fig. 8 Hardness distribution of spot weld



(a) (b)

Fig. 9 Microstructure of as-welded nugget : (a) OM, (b) SEM

있으며, 이때 더욱 확대된 페라이트와 오스테나이트의 2상 영역을 통과하게 된다. 따라서 본 연구의 이종용접 너깃내부의 조직형성과정을 예상해보면 다음과 같다. 1차 통전에 의해 형성된 너깃은 원 모재인 STS430보다 낮은 Cr를 함유하게 되어 페라이트와 오스테나이트 2상 영역이 확대된 Line B를 따라 응고를 시작하게된다. 이때 저항 점 용접 특유의 빠른 냉각속도에 의해 페라이트와 오스테나이트 2상 존재구간을 급속한 속도로 통과하게 되어 너깃부의 마르텐사이트의 생성량은 STS430 동종간 용접시 보다 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이와 같은 결과로부터 너깃부의 상온 조직은 페라이트와 마르텐사이트의 혼합조직을 것으로 예상된다. 그러므로 화학조성변화와 점 용접 시 빠른 냉각속도에 의한 마르텐사이트의 생성이 경도상승의 한 원인인 것으로 사료된다.

그림 11은 저항 점 용접보다 냉각속도가 느린 GTAW로 두 이종소재를 맞대기 용접하여 그 용접부의 미세조직을 관찰한 결과 및 그 경도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 저항 점용접보다 냉각속도는 느리므로 상 분율의 차이가 예상되지만, GTA 용접금속도 저항 점용접과 마찬가지로 마르텐사이트와 페라이트의 혼합조직일 것으로 추측된다. 용접금속의 경도값은 약 290 Hv 정도로 STS430모재 보다 약 100 Hv 이상 높지만, 저항 점 용접부의 너깃부에 비교하면 그 경도값이 상당히 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 저항 점 용접부 너깃과 GTA 용접금속의 화학성분이 유사하다고 가정한다면, 점 용접 특유의 냉각속도 및 용접도중 가해지는 가압력에 의한 응력 또한 너깃부 경도상승의 원인인 것으로 생각된다.

그림 12는 1단 통전전류를 6 kA로 용접한 후 2단 통전전류를 5, 8, 9 kA로 하여 열처리한 점 용접부의 경도분포를 측정한 결과이다.

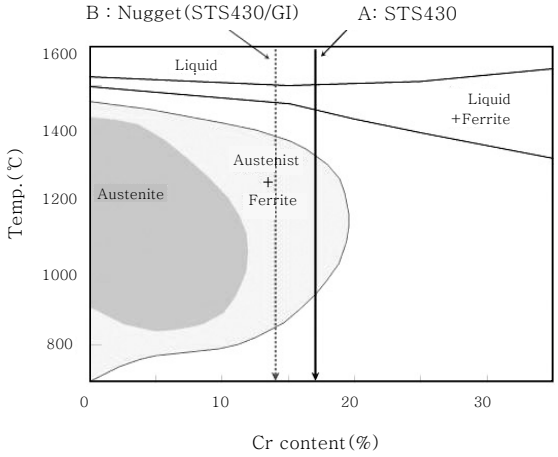


Fig. 10 Phase diagram of STS430 (C : 0.04 %)

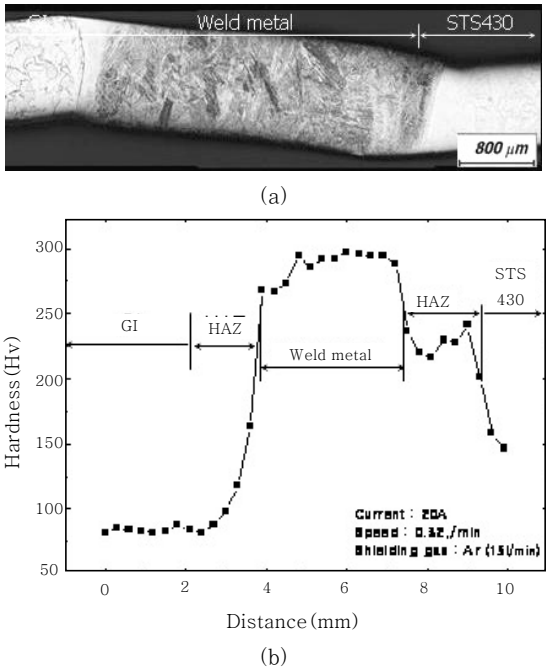


Fig. 11 Optical microstructure (a) and hardness distribution (b) of GTA weld

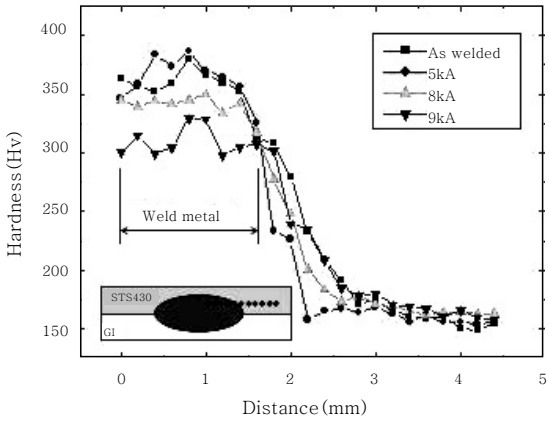


Fig. 12 Hardness distribution of spot weld with various 2nd curren

2단 전류가 5 kA인 경우는 2단 통전을 하지 않은 As-welded 너깃부와 유사한 경도값을 가지지만, 2단 통전전류 8 kA에서는 경도값이 약 350 Hv로 감소하고, 9 kA의 경우는 약 300 Hv 정도까지 감소하여 GTA 용접금속과 비슷한 경도값을 가진다. 그림 13은 6 kA로용접을 한 후 2단 통전전류를 9 kA로 열처리한 너깃 미세조직의 광학현미경과 주사식 전자현미경사진으로써, 좀더 자세한 분석이 필요하겠으나, As-welded 상태의 너깃내에서는 관찰되지 않았던, 결정립계가 관찰되는 것으로 보아 결정립조대화 등의 미세조직 변화가 상당히 진행된 것으로 보이며, 용접 시 부가되었던 응력도 열처리에 의해 감소하였을 것으로 추측된다.

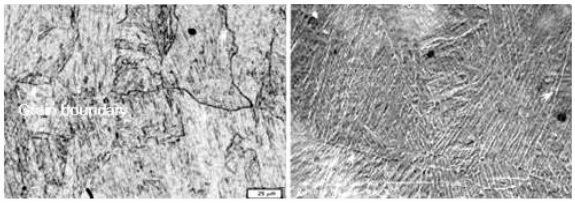
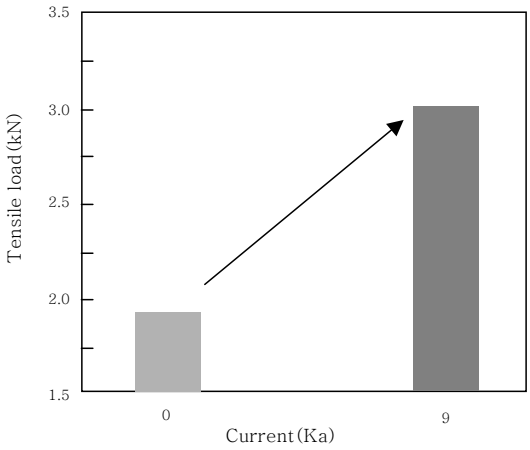
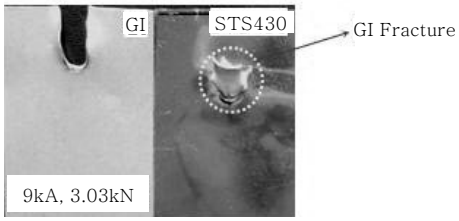


Fig. 13 Microstructure of nugget with heat treatment using 2nd current : (a) OM, (b) SEM (2nd current : 9 kA)



(a)



(b)

Fig. 14 Tensile load of tensile specimen heat treated (a) and appearance of tensile specimen tested (b), (2nd current : 9 kA)

따라서 2단 통전 열처리에 의한 너깃부의 경도감소는 미세조직변화 그리고 급냉 및 용접도중 가해졌던 가압력에 의한 응력이 감소하여 나타난 결과로 사료된다.

그림 14는 1단 통전전류를 6 kA로 하고, 2단 통전전류를 9 kA로 하여 제작한 인장시험편의 시험 후 외관 및 인장시험 결과를 나타낸 것이다. 2단 통전을 하지않은 시험편에서는 STS430모재에서 파단이 일어난 것과는 달리 용융아연도금강판 모재에서 파단이 일어난 것을 볼 수 있으며, 인장하중 또한 3.03 kN로 크게 향상되었다.

4. 결 론

페라이트계 스테인리스강 STS430과 용융아연도금강판 이종이음부 저항 점용접특성에 대한 연구결과는 다음과 같다.

1) 동종 용접에 비해 이종 용접은 적정용접조건이 좁고, 모든 가압력에서 적정용접전류가 낮았다.

2) As-welded 상태의 저항 점 용접부의 경도상승원인은 너깃의 화학조성 변화 그리고 급냉 응고에 의한 마르텐사이트 생성 및 점 용접특유의 급냉 및 용접 중 가압에 의한 응력증가 때문인 것으로 판단된다

3) 2단 통전 열처리에 의해 너깃의 경도는 감소하였으며, 용접부의 인장강도는 크게 향상되었다. 이것은 2단 통전에 의한 냉각속도 감소와 열처리에 의한 미세조직 변화 및 응력감소 효과에 의한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Shoji Inoue, Katsuhito Fukumura and Satoshi Soga : Spot welding of Aluminum alloy sheets to coated steel sheets, Nippon steel technical report, 69,(1994)
2. U. Bernabai, A. Brotzu and F. Felli : Analysis of the problems in spot welding AISI 301 high strength austenitic stainless steel and galvanized steel plates, W J, 11 (1997)
3. Assessment of the torsion test for resistance spot welds : K.I. Johnson, The welding institute (1999)
4. Norman A. Freytag : A comprehensive study of spot welding galvanized steel, Welding research supplement, April, (1965)
5. Kinya Ichikawa : Spot welding and projection welding, J of JWS, 64-2 (1995) (in Japanese)
6. Murat Vural, Ahmet Akkus : On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheet with austenitic stainless steel sheet, Journal of materials processing technology, 1-6 (2004)
7. Riei Ichikawa, Teruo Ohashi : Resistance Spot Welding of Dissimilar Metals-Commercial Pure Titanium to Some Aluminum Alloys, J of JWS, 48-10 (1979) (in Japanese)
8. H.I. Shin and S.S Kang : A study on the spot weldability of high strength steel sheet and two stories galvannealed high strength steel sheet, J. of KWS, 12-3 (1994) (in Korean)
9. I.H Heu, C.K Lee and B.D Chae : The quality evaluation on resistance spot welding of 2024 aluminum alloy and zinc coated steel, J of KWS, 12-4 (2001) (in Korean)