

점용접 아연도금강판의 강도특성에 미치는 온도 및 침수의 영향

서도원 · 최준용* · 임재규†

(2004년 4월 21일 접수, 2004년 10월 25일 심사완료)

Effects of Temperature and Water Immersion on Strength Properties of Spot Welded Zincked Steel Plates

Do Won Seo, Jun Yong Choi and Jae Kyo Lim

Key Words: Temperature(온도), Distilled Water(증류수), Synthetic Sea Water(인공해수), Water Immersion(침수), Strength(강도), Zincked Steel Plate(아연도금강판)

Abstract

A spot welded structures have an influence on a diverse climatic situation, for instance temperature, humidity and precipitation. In addition factors of environmental pollution such as acid rain, that courses corrosion, have the tendency to increase. But spot welded structures strength is affected by humidity and environment temperature. Therefore, it is important to evaluate effect of temperature and water immersion on strength properties of spot welded part. In this study, the strength distribution of spot welded plates is evaluated the environmental temperature of zinc coated steel plates. Test is conducted with welded part immersed in distilled and synthetic sea water. Specimens are immersed into water for 10, 100, 500 and 1000 hours to evaluate the effects of water immersion time on tensile-shear strength under the conditions of -40, 0, 20 and 50°C. From this result, spot welded specimens with 5 mm clearance have lower tensile-shear strength in the distilled water or synthetic sea water than without clearance. And they have lower tensile-shear strength under -40°C and over 50°C.

1. 서 론

점용접은 아크 용접(arc welding)과 납접(brazing and soldering) 및 리벳팅(riveting) 등의 접합방법에 비하여 작업성, 신뢰성, 안정성 및 생산성이 우수한 전기저항용접 방법으로 강재의 용접 특히 자동차 산업에 널리 쓰이고 있다.^(1~3) 자동차는 다양한 부품들로 구성되어 있으며 많은 요소의

부품들을 프레스에 의해 성형하거나, 점용접에 의해 결합한다. 하지만 생산현장에서는 금형의 노후화, 프레스의 마모 등의 여러 가지 이유로 인해 공장에서 생산된 부품들의 치수는 정확하게 맞지 않아 두 강판이 정확하게 맞대어진 상태가 아닌 간극(clearance)이 존재하는 상태에서 부품을 강제로 누르면서 점용접을 실시하고 있는 경우가 많이 발생하고 있고 이것은 연료탱크 등의 구조물 불량이라는 결과로 이어지고 있다. 그러나 부품 사이에 간극이 존재하는 상태에서 점용접이 실시되었을 경우 용접부의 용접강도에 미치는 영향에 대한 연구는 아직도 미흡한 상태이다. 또한 자동차는 온도, 습도 등 다양한 기후 조건에서 운행하게 된다. 특히 대한민국은 사계절이 뚜렷

† 책임저자, 회원, 전북대학교 기계항공시스템공학부, 자동차신기술 연구센터

E-mail : jklim@chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2321 FAX : (063)270-2460

* 전북대학교 공과대학 기계설계학과

하여 계절에 따라 극심한 온도와 강수량 및 습도의 변화를 보인다. 여름 최고온도는 지난 2000년의 경우 37.2℃이었으며 최저온도는 -20.2℃이었다. 여기에 포장 되어있는 도로의 복사열이나 차체에 가해지는 태양 복사열에 의한 효과까지 감안한다면 더욱 높은 온도가 될 것이다. 이처럼 자동차는 폭넓은 온도대에서 작동하게 된다. 여름엔 일년 강수량의 50-60%가 집중되고 습도 또한 7월에 80-90% 이상을 보이고 있으며 환경오염으로 인해 산성비처럼 화학적 부식을 일으키는 요소가 점차 증가하고 있는 추세이다. 따라서 자동차 생산에 폭넓게 사용되고 있는 점용접부의 신뢰성에 영향을 미치는 온도 및 침수로 인한 물리적, 화학적 부식에 대한 평가는 매우 중요하다.^(4~7)

따라서 본 연구에서는 자동차용 연료탱크의 용접부를 단순화시킨 단일 겹침 점용접 시험편에 대한 주변온도에 대한 점용접성의 변화와 증류수와 인공해수에 의해 침수된 점용접부의 강도평가를 실시하였다. 또한 파괴된 용접 시험편의 파면 관찰을 통하여 용접 이음부의 간극과 용접 구조물의 강도 성능의 관계를 규명해 프레스 금형 설

계 치수와 정밀도 등의 설계에 기초 자료로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편 및 용접조건

본 연구에 사용된 시험편은 자동차 부품에서 많이 사용되는 아연도금강판(SECC20/C)으로서 화학적 조성과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 점용접에 의한 시험편제조 방법은 두께가 1.2 mm인 일반 아연도금강판을 길이 90 mm, 폭 25 mm로 절단한 후 인장강도 시험편의 표면을 용접하기 전에 아세톤과 에틸알코올로 깨끗하게 세척하였다. 두 시험편을 24 mm 겹친 후 특수 제작한 지그를 이용하여 시험편 사이의 간극을 0, 3, 5 mm로 하여 점용접을 실시하였다. 시험편 제작에 사용된 용접기는 단상 교류식 single point형 정치 공압식 용접기이다. 용접시간, 가압시간 및 유지시간은 용접기에 부착된 계기를 통하여 설정하였다. 가압력은 점용접용 가압력 측정계를 사용하여 측정하였다. 용접에 사용된 전극은 선단경 Ø6 mm의 Cr-Cu 재질을 사용하였다. 용접 조건은 용접전류 10 kA, 전극가압력 240

Table 1 Chemical composition of zincked steel sheet

Chemical composition(wt.%)						Coating weight(g/m ²)	
C	Si	Mn	P	S	Fe	outer side	inner side
0.0035	0.005	0.08	0.012	0.007	bal.	18.5	18.2

Table 2 Mechanical properties and thickness of zincked steel sheet

Mechanical properties			Thickness(mm)
Tensile strength(kgf/m ²)	Yield strength(kgf/m ²)	Elongation(%)	
31.0	18.5	50	1.2

Table 3 Spot welding conditions

Electrode	Welding current (kA)	Electrode force (kgf)	Clearance (mm)	Nugget diameter (mm)	Common condition
Cr-Cu	10	240	0	6.6	Squeeze time : 30 cycles Welding time : 12 cycles Holding time : 10 cycles Cooling water : 6 l/min
			3	6.5	
			4	6.4	
			5	6.2	

Table 4 Composition of synthetic sea water

Composition	Quantity(g)
NaCl	254.34
MgCl ₂ · 6H ₂ O	111.11
Na ₂ SO ₄	40.94
CaCl ₂	11.58
KCl	6.95
NaHCO ₃	2.01
KBr	1.01
SrCl ₂ · 6H ₂ O	0.42
H ₃ BO ₃	0.27
NaF	0.03

kgf, 냉각수의 유속은 6 l/min로 일정하게 유지하였다. 가압시간 30 cycles, 용접시간 12 cycles 그리고 유지시간은 10 cycles를 일정하게 유지하였다. Table 3은 본 실험에 적용된 용접조건을 보여주는 것으로서, 10 kA, 240 kgf 조건에서 간극이 0, 3, 5 mm일 경우 너겟의 평균 지름은 각각 6.6, 6.5, 6.2 mm로 측정되었다.

2.2 실험방법

점용접부의 환경평가를 위해 ASTM-D1141에 따라 제조된 표준해수(pH 8.2)를 중심으로 인공해수(synthetic sea water)를 제작하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 인공해수 구성은 Table 4와 같다. 인공해수의 pH를 수시로 점검해 pH가 항상 8.2를 유지 할 수 있도록 했으며 증류수와 인공해수에 부식 생성물이 발생하여 침적하지 않도록 2-3일마다 새로운 용액으로 교환했다. 용액의 온도는 약 20℃에서 ±2℃의 오차범위를 유지하도록 하였다. 시험편의 인장전단하중에 영향을 미치는 침수 시간의 영향을 측정하기 위해 2개의 수조를 준비하고 각각의 수조에 증류수와 인공해수를 채우고 물의 온도가 일정하게 유지되도록 하였다. 설정한 조건에 만족하도록 하기 위해 각 10, 100, 500, 1000시간동안 시험편을 증류수와 인공해수에 침수시켰다. 시험편의 침수가 완료되면 꺼내어 즉시 2 mm/min의 하중속도(crosshead speed)로 인장시험을 실시하였으며 파단면도 관찰하였다. 환경온도에 따른 점용접부의 강도 변화를 보기 위해 -40, 0, 20(상온), 50℃의 4가지 온도조건을 주어 시험하였다. -40과 0℃ 는 dry ice

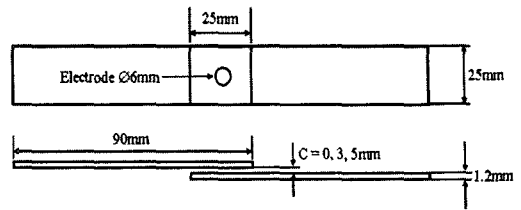


Fig. 1 Configuration of tensile shear test specimen

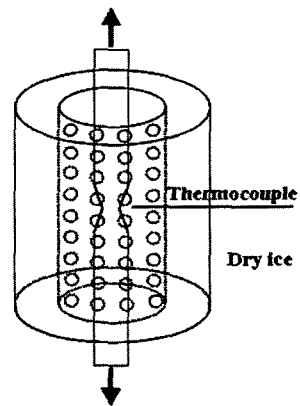


Fig. 2 Apparatus for estimating fracture properties at low temperature (-40 and 0℃)

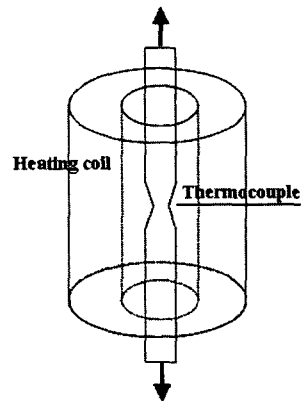


Fig. 3 Apparatus for estimating fracture properties at high temperature (50℃)

를 사용하여 온도를 낮추었고, 50℃는 heating coil을 사용하여 온도를 조절하였다. Fig. 1은 인장-전단 시험편의 형상을 나타내었고, Fig. 2는 시험에 사용된 저온실험, Fig. 3은 고온실험의 간략도를 나타내고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시험온도의 영향

시험편 사이의 간극(clearance)과 온도 변화에 의한 점용접 시험편의 인장전단 파괴하중의 변화는 Fig. 4와 같다. 온도가 낮을 때에는 인장전단 하중값이 작지만 온도가 상승함에 따라 점차로 인장전단하중값이 증가하여, 0℃에서 20℃사이에서 최고값을 보였으며, 20℃ 이상에서는 온도가 상승함에 따라 인장전단하중값이 감소하였다. 간극이 존재하지 않는 상황에서 온도가 -40℃일 때와 0℃일 때를 비교해 보면 인장전단하중은 5.88 kN과 6.31 kN으로 약 7.3% 증가했고 20℃일 때와 비교해보면 6.36 kN로 7.6% 증가했음을 볼 수 있다. -40℃에서 20℃ 범위에서는 인장전단하중은 대체로 증가하다가 50℃로 증가하게 되면 6.36 kN에서 6.29 kN로 약간 감소하고 있다. 그리고 이러한 경향은 간극이 3, 5 mm일 때도 마찬가지로 임을 확인할 수 있다. 이처럼 시험온도가 아주 낮을 경우(-40℃)에 시험편은 저온 취화특성을 나타내게 되고 인장전단하중 값은 감소하게 된다. 그렇지만 온도가 증가(0, 20℃)함에 따라 취성은 점차 사라지게 되며 이로 인해 인장전단하중 값은 증가하게 된다. 그리고 시험 사이의 간극과 인장전단하중과의 관계를 보면 간극이 5, 3, 0 mm로 점차 감소하면 온도와 관계없이 점용접 시험편의 인장전단하중은 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 온도가 20℃인 경우, 간극이 5, 3, 0 mm일 때의 하중은 각각 6.16, 6.28, 6.36 kN이었다. 이것은 온도와 더불어 시험편의 간극이 인장전단하중값에 영향을 주는 인자임을 보여준다.

이러한 결과로부터 신뢰성있는 점용접 구조물을 제작하기 위해서는 간극을 없애고 사용온도를 실온에 근사하도록 유지시켜주는 노력이 필요하다. 일반적으로 상용차의 연료탱크는 적재함의 하단 측면에 위치하고 있어 외부온도에 노출되기 쉽다. 따라서 상대적으로 온도노출에 둔한 내부로의 위치이동을 고려해볼만하다.

3.2 물과 해수의 침수영향

재료의 환경 파손은 넓은 의미에서 순수한 화학적 작용에 의해서만 진행되는 파손과 화학적 작용, 기계적 작용의 상호작용에 의해 진행되는 파손으로 크게 나눌 수 있다. 이런 파손 현상은 사용상 불가피하게 접촉하는 다양한 환경의 영향을 받음과 동시에 여러 가지 형태의 하중 및 외력 등을 받게 됨에 따라 발생하게 된다. 대부분의 금속은 침식·부식에 민감하다. 금속성분은 용해된 이온 형태로 금속표면으로부터 제거되어져거나, 고체 생성물로서 금속표면에서부터 기계적

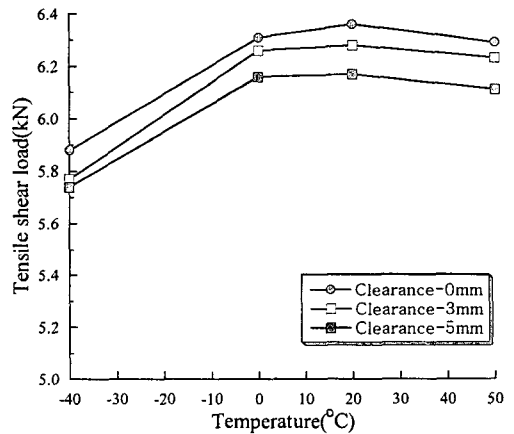


Fig. 4 Tensile shear load distribution with various test temperature

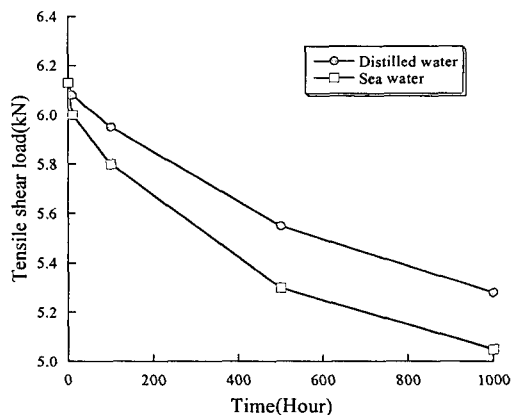


Fig. 5 Tensile shear load distribution with various immersion time

으로 쏠려 나간다.⁽⁹⁾ 부식성 용액 환경에 놓여진 금속이 대단히 빠른 속도로 부식되어 가는 현상은 익히 잘 알려져 있으며, 그의 손상 기구 및 지배인자는 환경조건에 따라 다양하게 나타난다.

이번 실험에서는 증류수와 인공해수에 점용접 시험편을 침수시킨 후 부식되어 가는 과정을 확인했다. 해수의 pH값은 수심에 따라 7.5-8.2까지 변화하지만 산업폐수로 인하여 공단 연안지역에서의 pH값은 다소 변동이 있을 것으로 예상되어 표준해수를 기준으로 하여 인공해수를 제조해 실험을 실시하였다. 증류수와 인공해수의 각 침수

시간에 따른 인장전단하중의 관계는 Fig. 5와 같다. 시간이 증가할수록 인장전단하중은 감소하고 있고 인공해수의 경우 증류수에 침수시켰을 때보다 훨씬 인장전단하중의 감소가 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 인공해수가 증류수에 비해 훨씬 부식속도가 빠르기 때문이다.

Fig. 6(a)는 증류수에 침수시킨 점용접 시험편의 인장시험 결과를 나타내고 있으며, Fig. 6(b)는 x축의 시간을 로그(log)처리하여 나타낸 것이다. 침수시간이 길어짐에 따라 인장전단하중의 감소를 확인할 수 있었으며 침전시간이 증가할수록

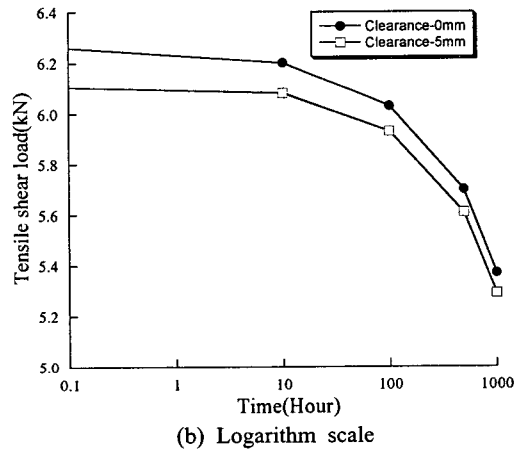
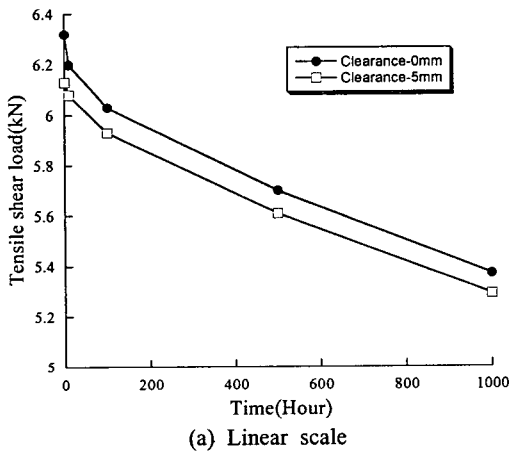


Fig. 6 Relationship between tensile shear load and immersion time in the distilled water

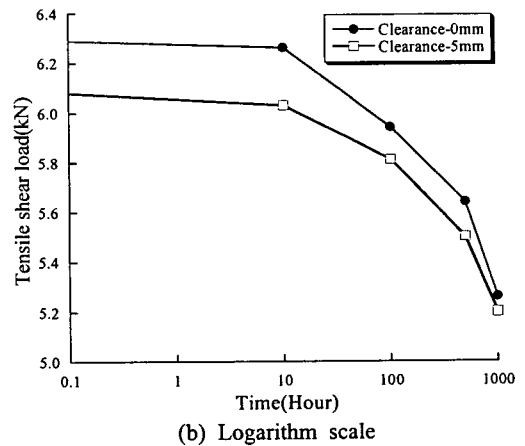
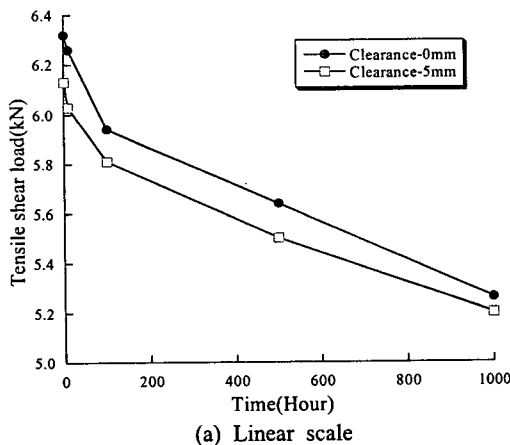


Fig. 7 Relation between tensile shear load and immersion time in the synthetic sea water

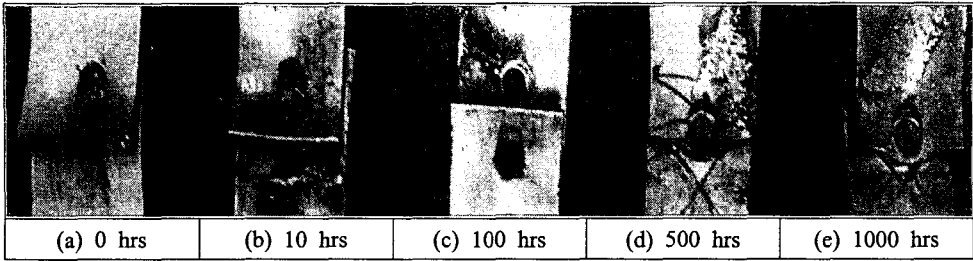


Fig. 8 Photographs of fractured specimens with various immersion time in distilled water

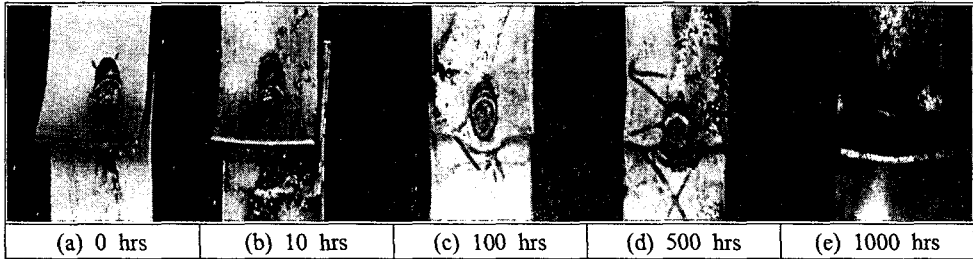


Fig. 9 Photographs of fractured specimens with various immersion time in synthetic sea water

그 부식되는 속도가 빨라짐을 확인할 수 있다. 또한 간극이 5 mm인 시험편의 인장전단하중은 간극이 존재하지 않는 시험편의 하중에 비해서 낮게 나타났다. 즉, 간극이 0 mm이고 침수시간이 10, 100 시간인 경우에 하중이 6.2, 6.03 kN인 반면, 간극이 5 mm인 경우에는 각각 6.09, 5.92 kN으로 상대적으로 낮게 나타났다. 그러나 침수시간이 증가할수록 간극 차이에 의한 하중값의 차는 감소하였다.

Fig. 7(a)는 인공해수에 침수시킨 점용접 시험편의 인장시험 결과를 나타내고 있으며 Fig. 7(b)는 x축의 시간을 로그 처리하여 나타낸 것이다. 침수시간이 증가함에 따라 인장전단하중은 감소하고 있으며 그와 더불어 부식속도는 증류수와 마찬가지로 침수시간이 증가함에 따라 점차 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 간극이 5 mm인 시험편은 그렇지 않은 시험편보다 인장전단하중이 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 즉, 간극이 0 mm이고 침수시간이 10, 100 시간인 경우에 하중이 6.25, 5.93 kN인 반면, 간극이 5 mm인 경우에는 각각 6.03, 5.81 kN으로 상대적으로 낮게 나타났다. 그러나 침수시간이 증가할수록 간극 차이에 의한 하중값의 차는 감소하였다.

이처럼 점용접부를 가진 구조물은 담수 및 해수에 의해 강도가 약해지는 특성을 가지고 있으므로 이를 방지하는 설계가 필요하다. 특히 물에 의한 접촉이 빈번한 상용차의 연료탱크와 같은 구조물은 방수피막을 입혀 용접부에 직접적으로 물이 접촉하는 것을 차단하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

3.3 파면관찰

Fig. 8은 증류수에서 침수시간 (10, 100, 500, 1000 hrs)에 따른 시험편의 부식 상태와 인장시험시 파괴된 시험편의 모습을 나타내고 있으며, Fig. 9는 인공해수에서의 침수시간에 따른 시험편의 부식 상태와 인장시험 후 점용접 시험편의 파단형상을 나타내고 있다. 침수시간이 길어질수록 부식이 더욱 심하게 일어났으며 증류수보다는 인공해수에서 침수된 점용접 시험편이 더욱 심하게 부식되었음을 확인할 수 있다. 침수시 주로 용접부보다는 열영향부(HAZ)로 많은 부식이 발생하여 인장시험시 열영향부에서 먼저 균열이 발생하여 시험편이 파괴에 이르고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 점용접 공정의 특성상 구조물의 외부로 노출되지 않는 용접부보다는 침수시 직접적인

수분 접촉이 일어나는 열영향부가 더 취약하기 때문이다.

4. 결론

자동차용 연료탱크의 용접부를 단순화시킨 단일 겹침 점용접 시험편의 강도에 미치는 환경온도와 증류수 및 인공해수에 의한 침수의 영향을 살펴본 결과 다음과 같은 결과를 얻어내었다.

(1) -40℃와 상온 이상의 환경에서 인장전단하중은 감소하였다.

(2) 간극이 증가할수록 점용접 시험편은 낮은 인장전단하중값을 나타냈는데, 온도가 20℃인 경우 간극이 0, 3, 5 mm일 때의 하중은 각각 6.36, 6.28, 6.16 kN이었다.

(3) 간극이 존재하는 점용접 시험편은 간극이 존재하지 않는 시험편에 비해 증류수나 인공해수의 침수 환경에서 인장전단하중값이 낮게 나타났으나, 침수시간이 증가함에 따라 그 차이는 감소하였다.

(4) 침수환경에서는 용접부보다는 수분의 직접적인 접촉이 발생하는 열영향부에서 상대적으로 많은 부식이 발견되었으며, 인장시험시 균열도 열영향부에서 개시되어 파단되었다.

(5) 점용접부 구조물의 신뢰성 향상을 위해서는 수분과 온도의 직접적인 접촉을 줄이기 위해 방수피막공정과 구조물 위치의 재배치 등이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

(1) Min, J. K., Oh, Y. K. and Kim, G. S., 1996, "A Study on the Spot Weldability of Automotive Steel Sheets," *Journal of the Korean Society of*

Welding, Vol. 14, No. 3, pp. 41~47.

(2) Lee, J. S. and Chin, E. Y., 1996, "Effect of Weldability Conditions on Spot Welding of Galvanized Steel Sheet," *Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater.*, Vol. 34, No. 2, pp. 261~269.

(3) Kang, S. S. and Shin, H. I., 1994, "A Study on the Spot Weldability of High Strength Steel Sheet and Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet," *Journal of the Korean Society of Welding*, Vol. 12, No. 3, pp. 56~62.

(4) Song, J. H., Lee H. J. and Lim, J. K., 2002, "Effect of Temperature and Immersion Time on the Environmental Adhesive Strength of Adhesively Bonded Joints of Rolled Steel Sheet," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 26, No. 12, pp. 2662~2669.

(5) Seo, D. W., Yoon, H. C., Lim, J. K. and Jeon, Y. B., 2003, "Effect of Spot Welding Conditions on Spatter and Mechanical Strength Properties," *Journal of the Korean Society of Welding*, Vol. 21, No. 2, pp. 70~75.

(6) Yoon, B. H. and Kweon, Y. G., 1995, "Characteristics of Adhesive Bonded Joints of Steels for Automobile(1)," *Journal of the Korean Society of Welding*, Vol. 13, No. 2, pp. 106~114.

(7) Baek, J. H., Kim, Y. P., Kim, W. S. and Kho, Y. T., 2002, "Effect of Temperature on the Charpy Impact and CTOD Values of Type 304 Stainless Steel Pipeline for LNG Transmission," *KSME International Journal*, Vol. 16, No. 8, pp. 1064~1071.

(8) Gedeon, S. A., Schrock, D., Lapointe, J. and Eagar, T. W., 1984, *SAE Technical Paper 840113*, Warrendale. PA