

## 고장력강판 및 2층아연도금된 고장력 강판의 점용접성에 관한 연구

신 현 일\* · 강 성 수\*\*

### A Study on the Spot Weldability of High Strength Steel Sheet and Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet

H. I. Shin\* and S. S. Kang\*\*

**Key Words** : High Strength Steel Sheet(고장력강판), Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet (2층아연도금된 고장력강판), Galvannealed Steel(갈바아닐드강), Galvanized Steel(갈바나이즈드강), Spot Welding(점용접), Nugget(용착부), Weld Time(용접시간), Expulsion(비산), Electrode Tip(전극팁)

#### Abstract

The spot weldability of high strength steel sheet and two stories galvannealed high strength steel sheet has been studied.

- 1) Tensile shear strength decreased inversely as welding current increased over 12KA in the case of two stories galvannealed high strength steel sheet.
- 2) When heat flux input over 12KA, hardening region become narrow in case of two stories galvannealed high strength steel sheet.
- 3) The size of hardening region affect the strength of nuggets.

#### 1. 緒 論

점용접은 극히 짧은시간에 이루어지고 고도의 기술이 필요없이 비숙련공도 작업이 가능하고 작업이

간단하므로 자동차 차체를 위시하여 항공기구조, 철도차량등 내구성과 신뢰성이 요구되는 박판구조에 널리 쓰이고 있다.

특히 우수한 조작성, 경제성, 생산성 및 균일한 용접품질확보의 용이로 인해 대량생산체제인 자동차공업에 널리 쓰이고 있어 차종에 따라 다소 차이는

\* 정회원, 현대자동차(주) 차체기술부

\*\* 정회원, 부산대학교 공과대학 기계공학과

있으나 프레스 성형된 수많은 박판부재를 차체조립 (Body Assembly)하는데는 대당 3,500-5,000점의 점용접이 사용되어 차체의 강도를 유지하게 된다.

그러나 차체조립의 대부분을 차지하는 점용접에 대한 연구는 지금까지 국내에서 보기힘든 형편이다. 또한 경량화, 방청화의 요구가 증가됨에 따라 북미 수출용 자동차는 염해대책으로 아연도금강판의 사용이 늘고있고<sup>1-3)</sup> 용접성향상 및 전극수명향상을 위한 표면처리도금강판의 사용이 늘고 있으나<sup>2,4)</sup> 최근에 자동차 외판에 적용되기 시작한 2층아연도금강판에 대한 연구는 많지 않다. 고장력강판 역시 탄소등 강화원소에 의한 용접성이 연강에 비해 좋지 않기 때문에 여기에 아연도금된 고장력강판의 용접성은 더욱 좋지 않다. 따라서 연구의 필요성은 크다고 본다.

용접성에 영향을 주는 것으로는 판두께, 너깃경도에 의한 역학적인자와 재질, 화학성분등에 의한 재질적인자 및 전류, 가압력, 통전시간, 전극형상등에 의한 용접적인자등 많은 인자의 영향을 받는다.

특히 아연도금강판은 표면이 부드럽고 전기전도도가 좋은 아연도금층이 있어 초기 가압에 의해 넓은 면적으로 판넬이 접촉하기 때문에 접촉저항이 작게 되고 또한 초기통전으로 용접이 낮은 아연도금층이 용융되어 비접촉부분에 흘러가게되어 접촉면적이 커져 전도면적의 증가, 즉 전류밀도가 낮아 발열량이 적게된다. 따라서 무도금강판에 비해 큰 전류가 필요하며 또한 이때 생기는 飛散방지를 위해 가압력도 높게 설정되는 경향이 있다<sup>5)</sup>.

따라서 본 연구에서는 고장력강판 및 2층아연도금된 고장력강판의 경우 전류와 용접시간을 변화요인으로 하여 전단인장강도를 측정하여 과도한 전류나 용접시간에 의한 강도변화 추이와 硬化域 분포변화등을 연계연구하여 2층아연도금된 고장력강판과 도금되지 않은 고장력강판의 점용접성 특성에 대해 연구해 보고자 한다.

## 2. 實驗方法

### 2.1 용접재료

본 실험에 사용된 재료는 實생산-Line에 적용하고 있는 0.7mm 두께의 고장력강판(High Strength Steel Sheet)과 2층아연도금된 고장력강판(Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet)을 사용하였다.

Fig. 1은 시편단면의 도금상태를 보여준다. Table 1은 본 실험에 사용된 시료의 화학성분을 나타내고 Table 2는 기계적 성질을 보여준다.

Table 1. Chemical Composition of base metals

Material	C	Mn	P	S	AL
wt %	0.04	0.32	0.087	0.008	0.039

Table 2. Mechanical Properties

sheet	property	TS (Mpa)	YS (Mpa)	EL (%)
High Strength Steel Sheet		358.1	182.5	40
Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet		353.2	196.2	39

### 2.2 실험장치

본 실험에 사용된 시험편은 JIS Z3136에 따랐으며 Fig.2는 시험편의 치수를 나타낸다. 본 실험에 사용된 점용접기는 공압식으로 정격용량이 150KV인 정치식을 사용하였으며 용접전극은 반구형(dome type)으로 형상은 외경 16mmφ, 용접전단경 6mmφ로 산화알루미늄 분산동으로 되어있고 10타점마다 교환하였다. Table 3은 실험에 사용된 용접조건을 나타내며

Thickness	: 0.28 μ m	Fe-Zn ALLOY(Fe 70-80 wt%)	2g/m <sup>2</sup>
	: 4.62 μ m	Zn-Fe ALLOY(Fe 15-20 wt%)	33g/m <sup>2</sup>
	: 0.7 mm	Base Metal	
	: 5.18 μ m	Zn-Fe ALLOY(Fe15-20wt%)	37g/m <sup>2</sup>

Fig. 1 Coating condition of specimen

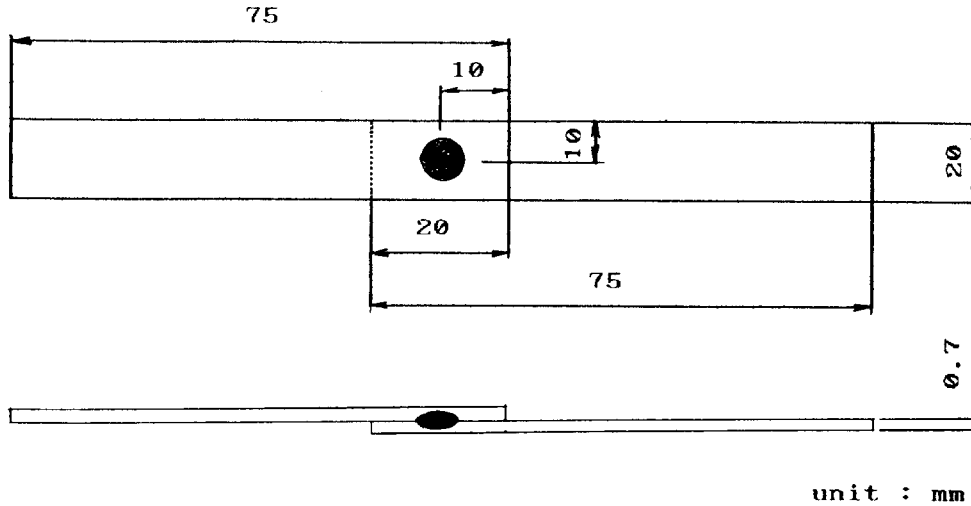


Fig. 2 Dimension of specimen

Table 3. Welding conditions

Welding time (cycle)	7				10				15				18			
Welding current (KA)	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12	9	10	11	12

초기가압시간(Squeeze time) 40cycle, 점용접유지시간(Hold time) 12cycle, 가압력 2354N, 냉각수의 유속은 12ℓ/min로 일정하게 유지하였다. 용접시간과 용접전류는 순간전류계(Weldscope)로 측정하였으며, 가압력은 가압력계(Spotron)를 사용하여 측정하였다. 본 실험에 사용된 용접시간은 cycle로 표시하였으며 1 cycle은 1/60초에 해당된다.

### 2.3 용접강도 측정

점용접된 시험편은 전단인장강도 측정을 위해 인장시험기(Tensilon)로 5m/min 속도로 최대하중을 측정하였으며 Micro조직 관찰을 위해 3% Nital에 5-15초간 etching한 후 금속현미경(Epiphot Nikon)으로 용접조직을 관찰하였다.

경도시험은 마운팅시킨 시험편의 원주방향으로 경도기(Wilson Tukon Microhardness Tester)로 Nugget Center에서 0.5mm간격으로 측정하였으며 모재 강도와 가까운 곳부터 0.25mm 간격으로 측정하였다. 이 때 측정하중은 0.98N으로 하였다.

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3.1 너깃(Nugget)의 성장

점용접부의 단면은 Photo. 1에 나타난 것과 같이 용착부(Nugget), 열영향부(HAZ : Heat Affected Zone), 압접부(Corona Bond) 및 모재(Base Metal)로 구성되어 있으며 짧은 용접시간 및 전극의 냉각수 순환에 의한 급냉과 시험편을 통해 아주 빠르게 빠져나가는 열에 의한 급냉으로 마르텐사이트가 생성된 용착부(Nugget) 및 온도가 변태점 이상으로 상승후 냉각된 열영향부(HAZ) 조직은 모재의 조직보다 結晶粒子가 微細化 되어있음을 Photo.2에서 볼 수 있다<sup>6)</sup>. 또한 이러한 결정입자의 미세화로 너깃부조직은 모재경도보다 2-3배 경화되었음을 볼 수 있다(Fig.6, Fig.7, Fig.8)

Fig.3은 2층아연도금된 고장력강판(Tow Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet)의 11KA,

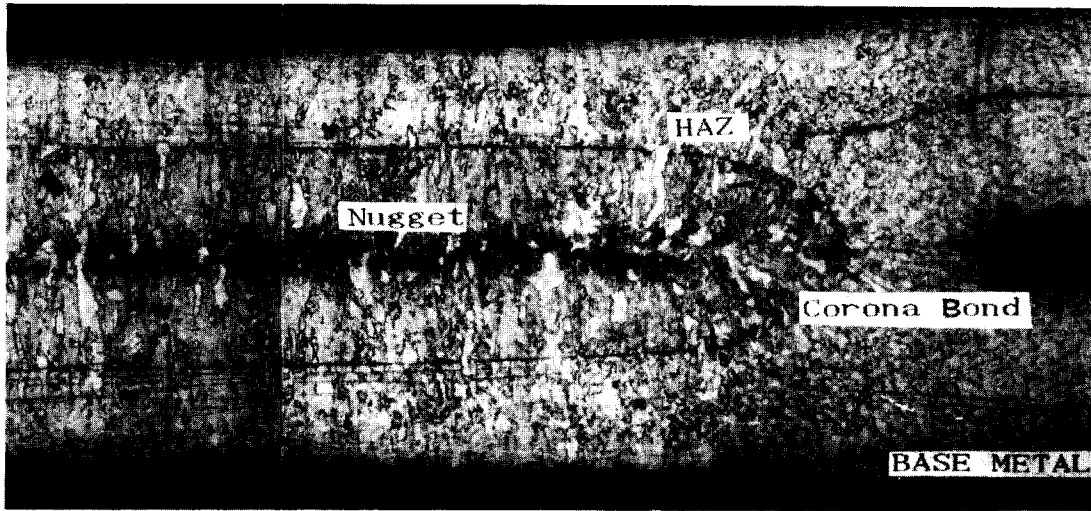


Photo. 1 Cross section of welding zone in high strength steel sheet. 15cycle, 11KA(×50)



Photo. 2 Magnified photograph near the nugget

12KA일때 용접시간에 따른 너깃직경의 성장추이를 보여주며, 용접시간(入熱量)의 증가에 따라 너깃직경이 증가하다가 18Cycle의 경우 도리어 너깃직경이 감소함을 보여준다. 이것은 入熱量이 너무 많을 경우에는 Photo.3에 나타낸 것과 같이 용융금속이 분

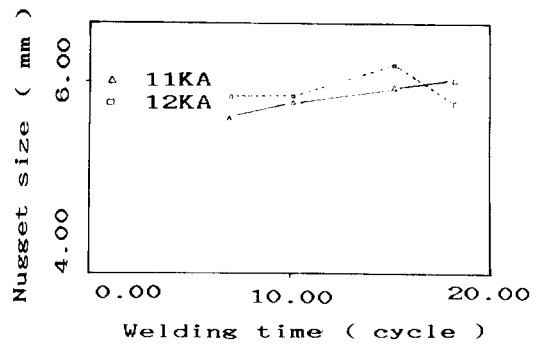


Fig. 3 Nugget growth with welding time in case of two stories galvanized high strength steel sheet

출되는 飛散(Expulsion)의 영향과 관계가 큰것으로 판단된다. 11KA에서는 용접시간과 비례적으로 너깃이 증가하나 12KA에서는 18cycle에서 감소되는 현상을 보이는데 이것은 12KA, 18cycle에서 飛散이 일어나는 임계점(Critical Point)에 도달된 것으로

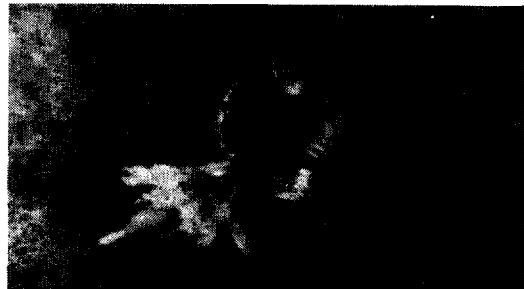


Photo. 3 Phenomenon of expulsion

판단된다.

### 3.2 전단인장강도(Tensile Shear Strength)의 비교

Photo.4에서 나타나는 바와같이 전단인장강도 시험편은 점용접부위인 Nugget전단 열영향부에서 파괴가 일어남을 관찰할 수 있다. 이것은 점용접은 점형태로 접합이 되기 때문에 너깃전단에서 응력집중이 일어나고 경화부와 비경화부의 경계선상 근처가 가장 변형이 집중되는 결과로 판단된다.

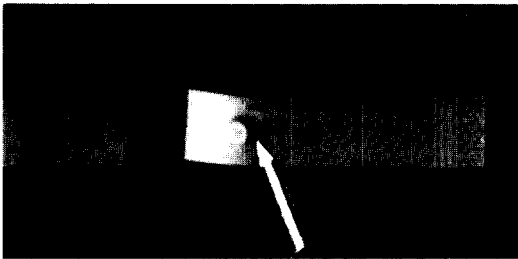


Photo. 4 Position of crack

Fig. 4는 2층아연도금된 고장력강판(Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet)의 11KA와 12KA일 때 용접시간에 따른 전단인장강도(Tensile Shear Strength)의 변화추이를 보여주며 과대입열량의 경우 전단인장강도가 도리어 감소함을 보여준다. 이것은 Fig.3의 너깃직경(Nugget Size)의 감소에 기인한 것으로 보인다.

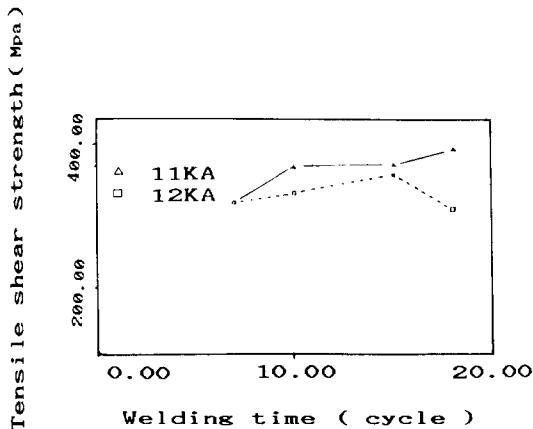


Fig. 4 Tensile shear strength with welding time in case of two stories galvannealed high strength steel sheet

한편 무도금강판의 경우인 Fig.5에서는 고장력강판(High Strength Steel Sheet)의 용접시간에 따른 전단인장강도의 변화를 표시하며 2층아연도금된 고장력강판의 과대입열량 조건인 18cycle 이후에도 전단인장강도는 감소하지 않았다. 이것은 아연도금강판의 경우 표면이 부드럽고 전기전도도가 좋은 아연의 낮은용융점으로 인한 氣化로 일정수준 이상의 용접시간 증가가 용접강도 증가에 긍정적인 역할을 하지 못하고 있는 것으로 보인다. 이것은 전류밀도 감소로 인한 硬化域의 감소와도 관계가 깊은 것으로 판단된다. 또한 15cycle 이상의 용접시간에서는 전단인장강도의 포화 즉 Nugget 성장의 포화를 볼 수 있으며 이것은 용착부의 성장이 통전초기에는 증가하지만 통전후기에는 감소한다는 中村등의 연구결과로 설명될 수 있다<sup>6)</sup>.

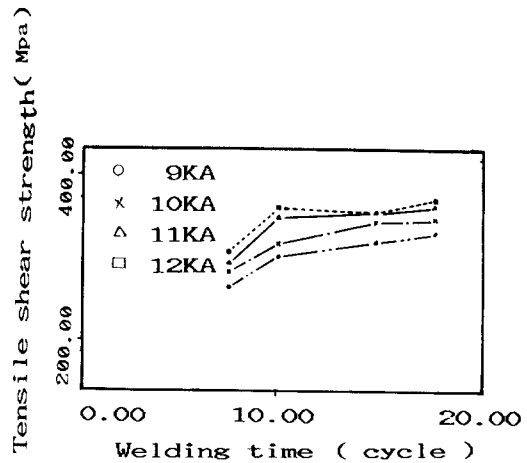


Fig. 5 Tensile shear strength with welding time in case of high strength steel sheet

### 3.3 경도분포(Hardness Distribution)의 비교

인장시험기로 전단인장강도를 측정시 최대하중일 때의 굽힘각을 비교해 보면 용접이 어느정도 된 것은 Photo.5와 같이 굽힘이 일어나지만 용접이 거의 되지 않은 것은 Photo.6과 같이 굽힘이 일어나지 않은 상태에서 전단 파괴된다. 용접이 된 상태에서는 용접전류의 증가는 굽힘각이 감소를 가져온다<sup>6)</sup>. 이것은 열영향을 받는 면적이 넓어진 결과 경화역이 넓어짐에 따라 Bending시의 굽힘변형 감소에 기인한다고 판단된다.

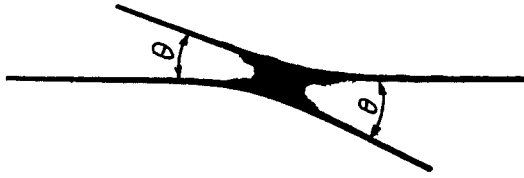


Photo.5 Shape of statically fractured specimen(propriety condition)

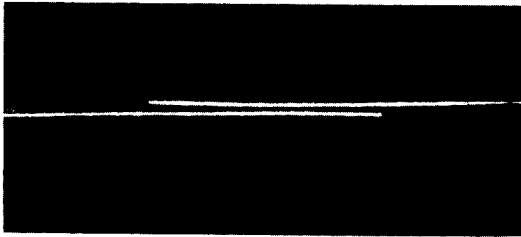


Photo. 6 Shape of statically fractured specimen (nonpropriety condition)

너깃부의 경도분포는 고장력강판의 경우가 2층아연도금된 고장력강판의 경우보다 최고경도치는 대체로 더 크게 나타났으며 이것은 고장력강판이 2층아연도금된 고장력강판에 비해 판넬과 판넬의 접촉면 및 용접전극과 판넬의 접촉면 사이의 표면조도에 따른 높은 접착저항의 결과로 판단된다<sup>6,9)</sup>.

Fig.6과 Fig.7, Fig.8은 고장력강판과 2층아연도금된 고장력강판에 대한 용접부 근방의 경도분포를 나타낸다.

Fig.6에서 고장력강판의 12KA인 경우 각 거리마다

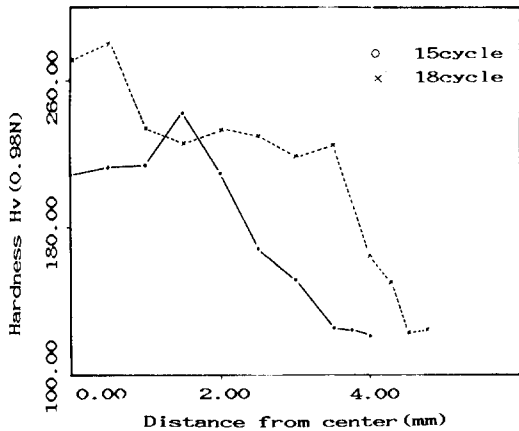


Fig. 6 Hardness distribution of high strength steel sheet in 12KA

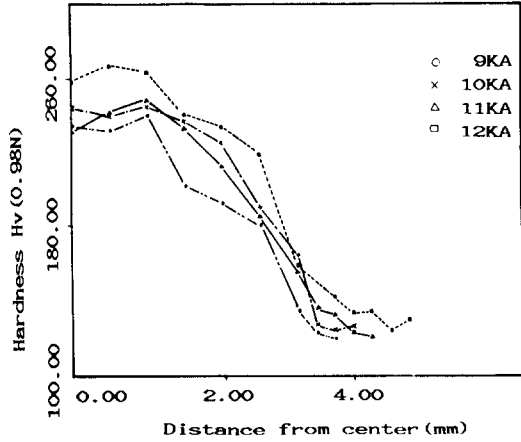


Fig. 7 Hardness distribution of two stories galvanized high strength steel sheet in 15cycle

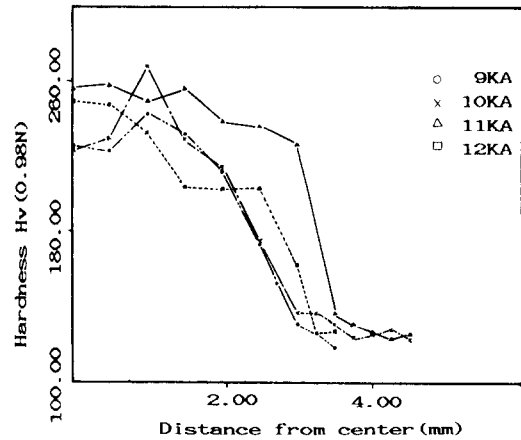


Fig. 8 Hardness distribution of two stories galvanized high strength steel sheet in 18cycle

15cycle과 18cycle일때의 경도를 나타내며 18cycle일때가 15cycle일때보다 硬化域이 넓게 분포되었고 이것은 入熱量의 증가에 따른 硬化域의 확대의 결과로 판단되며 경도분포는 전단인장강도에는 큰 영향을 미치지 않지만 피로에는 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>6,10)</sup>.

Fig.7과 Fig.8은 2층아연도금된 고장력강판의 15cycle과 18cycle일때의 경도분포를 각각 보여주며 대체로 入熱量(용접전류량)의 증가에 따라 硬化域이 넓게 나타나고 있지만 Fig.8의 경우 12KA일때가 11

KA 보다 硬化域이 오히려 더 좁게 나타났다.

이것은 아연의 존재로 인한 전류밀도의 감소로 通電域이 넓어졌고 용융시킴에는 충분하지 못한 열의 작용으로 어느정도 이상의 入熱量은 冷却速度를 느리게 한 결과로 판단된다.

이러한 현상들은 고장력강의 비교적 많은 탄소함유량에 의한 결과로 판단되며 일반연강과 비교되는 현상으로 용접시 고려해야 할 사항으로 판단된다.

#### 4. 結 論

2층아연도금된 고장력강판과 고장력강판의 점용접에 있어서 용접성을 비교 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 2층아연도금된 고장력강판의 경우 전류가 과다하게 증가함에 따라 너깃직경(Nugget size)과 전단인장강도는 도리어 감소하였다.
- 2) 2층아연도금된 고장력강판의 과다入熱量의 경우 硬化域이 도리어 좁게 나타났다.
- 3) 경화역의 크기도 용접강도에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

#### Reference

1. 岡斐二 : 자동차 방청강판의 동향, Vol 37, No.8 (1983), pp876-883
2. 近藤井桓, 齋藤亨 : 최근 자동차용 아연도금강판과 고장력강판의 저항점용접, 일본용접학회지 Vol.55, No.2(1986), pp97-106
3. Gdeon S.A : Metallurgical and Process Variables Affecting the Resistance Spot Weldability of Galvanized Sheet Steels, SAE 840113(1984)
4. Susanne Mathie : Zinc Coating Influence on Spot Weldability of Hot-Dip Galvanized Steel Sheets, SAE 850273(1985)
5. 현대자동차(주) : 전기저항용접(1985), pp27-60, 99-102
6. 강성수 : 이중용접재료의 피로거동에 관한 연구 (1989), pp2-19, 38-53, 84-85, 63-67
7. 유병길, 강춘식 : Galvannealed Steel의 점용접점의 용접성에 관한연구, 대한기계학회지 5-1(1987), pp64-71
8. 中村 : Spot 용접부의 품질보증 및 Monitor 상황과 장래, 일본용접학회지, Vol.44(1975), No.11, pp.13-27
9. 友田陽, 田村今男 : 연상2 상판의 강도, 연성파조직, 鐵と鋼 Vol 68, No.9(1982), pp 1147-1158
10. 조용한 : 자동차용 고장력강판(II), 대한기계학회지, 23-3(1983), pp 165-175
1. 岡斐二 : 자동차 방청강판의 동향, Vol 37, No.8