

55% Al - 43.4% Zn - 1.6% Si 합금도금 강판의 특성에 관한 연구  
김순경\*, 김민주\*\*, 전연찬\*\*\*

A Study on the Characteristics of Galvalume Sheet (55%Al-43.4%Zn-1.6%Si)  
Kim Soon Kyung\*, Kim Min Ju\*\*, Jeon Eon Chan\*\*\*

Abstract

An extensive corrosion study was initiated by galvalume steel sheet manufacturing company to clarify the corrosion behavior of zinc and zinc-alloy coated automotive sheet steel in out panel and electrical application. Since the early 1980's the use of zinc and aluminum alloy coated steel for vehicular corrosion protection has increased drastically. This paper describes the evaluation of formability, weldability and painted corrosion performance of galvalume steel sheet. This paper presents an overview of the program and some initial test results on the weldability, lifetime of the electrode tip shape of the spot welding and corrosion protection. Galvalume steel sheet improved corrosion performance and spot weldability of galvalume steel has no problem for the variation of welding current. And tip lifetime was changed according to the influence of shape.

Key Words : galvalume steel sheet(갈바륨 강판), weldability(용접성), lifetime(수명), electrode tip shape(전극형상), corrosion protection(부식방지)

1. 서 론

최근 일관제철소를 중심으로 차체의 경량화와 내구성 향상을 이룩할 수 있는 강판의 재질과 품질개발에 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 자동차의 바디와 각종 부품 제작용으로 가장 많이 사용되는 냉연 강판은 내식성과 성형성 그리고 용접성의 향상을 위하여 내식성이 우수한 아연을 도금하거나 아연합금 도금 등의 표면처리가 많이 이루어지고 있다. 차체의 품질 고급화에 큰 영향을 미치는 강판표면의 도금기술은 자동차의 수명과 외관 품질에 가장 큰 영향을 미치므로 매우 중요하다.

강판의 표면처리 분야중에서 용융 아연도금 강판이 가장 많이 생산되고 있으나, 자동차용

과 고급 가전제품용으로는 아연 부착량을 조절할 수 있고 편면도금이 가능한 전기 아연도금 강판이 최근에는 급속하게 증가되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 용융 아연도금 강판은 도금두께의 조절이 어렵고 표면이 거칠고 결정입자인 스팅글의 제어가 곤란하여 미려한 외관을 얻기가 어렵다. 그러나 전기 아연도금 강판은 도금두께가 작아서 도금후 도장용으로 많이 사용된다. 그러나 최근에는 내식성과 외관이 미려한 갈바륨 강판이 개발되어 자동차와 가전제품용으로 많이 사용되고 있으며 특히 농촌의 비닐 하우스용 파이프용 강판에 주로 사용되고 있다.<sup>2)</sup>

최근 아연합금 가운데 용적비 기준으로 알루미늄 55%와 아연 43.4%, 실리콘 1.6%로 구성된 경합금을 강판에 도금한 갈바륨이 미국을 중심으로 호주, 유럽 일본 등지에서 80년

\* 동의공업전문대학 자동차과  
\*\* 동아대 대학원 기계공학과  
\*\*\* 동아대학교 기계공학과

대 초반부터 생산되기 시작하였으나, 우리나라에서는 1986년도에 기술료를 지급하고 생산하기 시작하였다<sup>3)</sup>.

본 연구에서는 갈바륨이 여러 가지 측면에서 우수한 점이 많지만, 현재까지도 문제가 되고 있는 내식성과 점용접성을 보다 정확하게 평가할 수 있도록 하기 위하여 자동차용으로 가장 많이 사용되고 있는 갈바륨 강판의 내식성과 용접성을 중심으로 연구하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 1) 실험장치

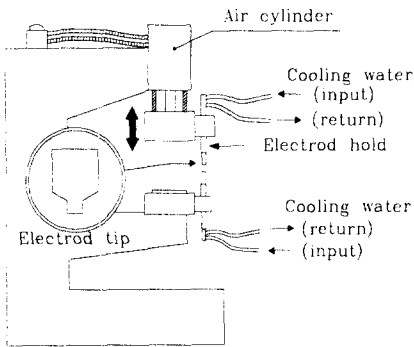


Fig. 1 The schematic experimental apparatus (Spec. 50kva, 0.4-1.6 mm, 120-600kgf, water cooling)

본 실험에 사용된 강판의 도금장치는 실제 냉간압연 강판을 생산하는 도금장치로서 최고 생산속도는 150 m/min이다. 갈바륨강판의 제조과정은 입측 Reel에서 풀린 강판의 평탄도 개선을 위하여 레벨라를 통과시킨 후, 강판표면에 부착된 압연유와 불순물을 제거하고 강판의 잔류응력 제거와 기계적 성질 개선을 위하여 풀림처리를 하는 연속 소둔장치인 CAL (Continuous Annealing Line)을 통과하게 된다. 풀림 처리가 끝난 강판은 갈바륨 용탕을 통과하면서 표면도금이 이루어지고 난 후에 냉각이 완료된 도금강판은 조질 압연기에서 표면조정 작업이 이루어진다.

본 실험에 사용된 전기저항용접기는 점용접기로서 용접기의 용량은 50 KVA이며 용접 전류범위가 4.0~15 KA 인 수냉식이며 용접 강판의 두께는 0.4~1.6mm 이다. 그리고 전원

은 축압식과 양수식 겸용이다. 가압장치는 공기압을 이용한 실린더가 장착되어 있으며 최대 단락 전류는 18 KA 이다.

### 2) 실험재료

본 실험에 사용된 아연합금인 갈바륨의 합금성분비는 용적비 기준으로 알루미늄 55%와 아연 43.4%, 실리콘 1.6%로 구성된 경합금이며 이것을 강판에 도금을 한 갈바륨 강판을 사용하였다. 그리고 시험편의 크기와 모양은 Fig. 2와 같다.

|             |                     |                      |
|-------------|---------------------|----------------------|
| Gauge       | 0.4~0.7             | 0.8~1.6              |
| Sample size | W × L = 25 × 70(mm) | W × L = 30 × 100(mm) |

Fig. 2 Size of specimen for experiment

그리고 갈바륨 강판의 원 소재인 강판의 화학적 성분은 Table 1에서 보는바와 같고 가장 많이 사용되고 있는 SAE 1008 강판을 사용하였다. 강판의 기계적 성질은 Table 2에서 보는바와 같다.

Table 1 Chemical compositions of strip (wt.%)

| Material | C    | Si    | Mn   | Al    | Cu    |
|----------|------|-------|------|-------|-------|
| SAE 1008 | 0.05 | 0.009 | 0.25 | 0.010 | 0.010 |

Table 2 Mechanical properties of strip

| Material | Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Yield strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Hardness (HRB) | Elongation (%) |
|----------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|
| SAE 1008 | 710.00                                | 640.80                              | 85.90          | 4.20           |

### 3) 실험방법

갈바륨 강판을 생산하는 과정은 Fig. 3에서 보는바와 같이 1차적으로 압연기에서 냉간압연 가공을 한 후 도금하는 도금공정으로 이루어져 있다. 갈바륨 강판을 생산하는 장치는 연속적인 가동이 되어야 하므로 입측에 용접장치가 있고, 압연가공중에 발생된 조직

의 변형과 가공 경화된 강판을 풀림 처리하는 연속 소둔 장치가 있으며 이 장치에서는 수소가 75%인 Ax가스를 분위기 가스로 주로 사용하고 있다. 이와 같이 열처리가 완료된 표면이 깨끗한 강판을 용융금속(Pot) 속으로 통과시켜 도금을 하며 도금두께는 Air jet의 control에 의하여 실시한다.

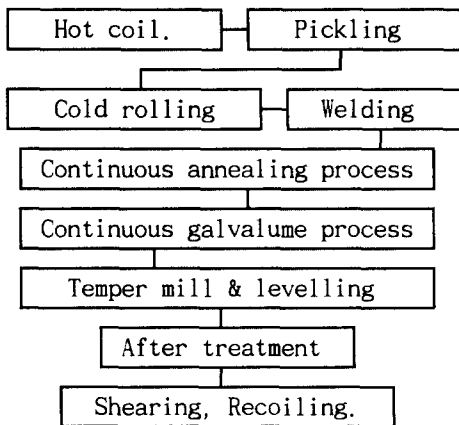


Fig. 3 Schematic diagram of galvalume manufacturing process

따라서 Air jet는 표면의 도금 부착량을 일정하게 할뿐만 아니라 표면을 미려하게 한다. 도금이 끝나면 결정의 정상적인 성장을 위하여 일정 시간동안 냉각시키고 난 후 레벨라에서 평탄도를 개선시키고 방청성이나 성형성을 좋게 하기 위하여 화학처리를 하였다. 화학처리는 도포형 크롬산 처리를 기준으로 실험을 하였다.

Table 3 Condition of spot welding

| Pressure (kgf) | Squees time | Initial current | Cooling time | Holding time |
|----------------|-------------|-----------------|--------------|--------------|
| 250 x t        | 30 cycle    | 10 cycle        | 4 cycle      | 30 cycle     |

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 1) 갈바륨 강판의 내식성

갈바륨 강판의 내식성은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 폭로시험을 통하여 측정하였으며 부식이 가장 빠르고 많이 발생하는 해안지역과 농원용으로 많이 사용되는 농촌지역에서 실시하였다. 여기서 갈바륨 강판은 아연도금

강판에 비해 농촌과 해안지역에서 공통적으로 방청효과가 우수하게 나타났다. 그리고 시간의 경과에 따른 부식감량을 비교해 보면, 아연도금 강판은 발청속도가 빠르고 부식속도가 일정한데 반하여 갈바륨강판은 시간의 경과에 따라 부식속도가 느려지는 특성을 나타낸다.

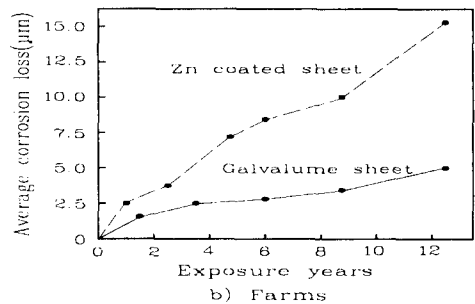
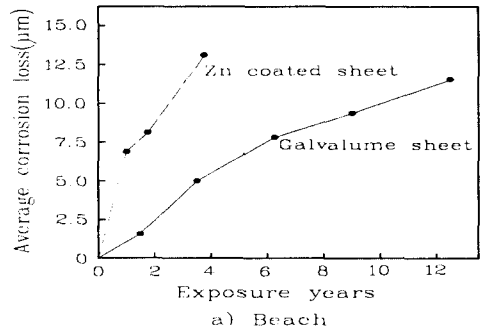


Fig. 4 Relationship between corrosion loss and exposure time (years)

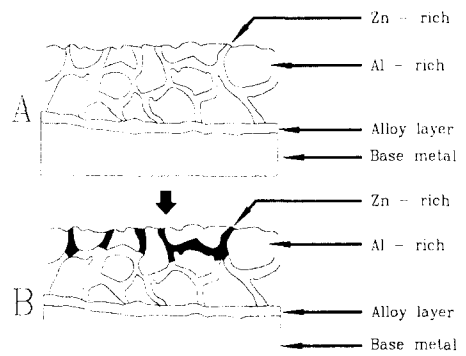


Fig. 5 Schematic diagram of corrosion mechanism for galvalume sheet

이와 같은 현상을 도금층의 구조적인 측면에서 고찰해보면 Fig. 5에서 보는바와 같이 부식초기에는 아연도 강판과 같이 갈바륨 도

금층의 Zn-Rich부가 먼저 부식되지만, 갈바륨의 경우는 Zn-Rich부의 조직이 아연의 부식물로 채워지면서 부식물이 외부와 소지철과의 차단역할을 하게 되어 부식이 진전되지 못하게 하는 자기부식기능에 의하여 내식성이 증가된다. Al-Rich부분은 알루미늄 도금과 같이 우수한 방식작용을 하기 때문에 내식성의 문제가 없으나 Fig. 5에서 보는바와 같이 조직이 미세할수록 부식의 진행속도가 지연되므로 급랭을 통한 조직의 미세화가 매우 중요할 것으로 판단된다.

## 2) 갈바륨 강판의 용접 특성

자동차나 가전제품용으로 많이 사용되는 도금 강판은 내식성과 마찬가지로 용접성도 매우 중요하다.<sup>3)</sup> 도금 강판에 적용되는 용접방법은 주로 전기저항용접과 아크용접, 그리고 MIG용접을 들 수 있으나 이 가운데 점용접이 가장 많이 사용되고 있으므로 점용접에 대하여 실험을 하였다.

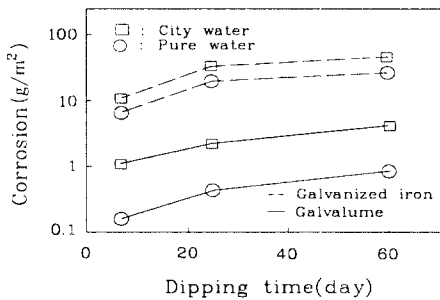


Fig. 6 Relationship between dipping time and corrosion

갈바륨 강판은 아연도금 강판에 비하여 도금층의 아연함유량이 작아서 아연산화물인 용접 Fume이 적게 발생하는 장점이 있는 반면 용접전류가 높고 전극의 소모가 많아 전극을 빈번하게 교환해야 하는 단점도 있다. 냉연박판의 점용접 부분은 모재인 갈바륨 강판의 두께보다 용융깊이가 작고 Nugget의 직경보다는 용융된 부분의 직경이 실제로 작게 나타난다.

Fig. 6은 갈바륨강판과 아연도금 강판의 부식시험 결과를 나타낸 것으로서 갈바륨강판이 전반적으로 부식량이 적게 나타나 방청성이

우수함을 알 수 있다. 특히 염분과 각종 불순물이 포함된 시수(市水)보다 순수에서 방청성이 더욱 우수한 특성을 나타냄을 볼 수 있다.

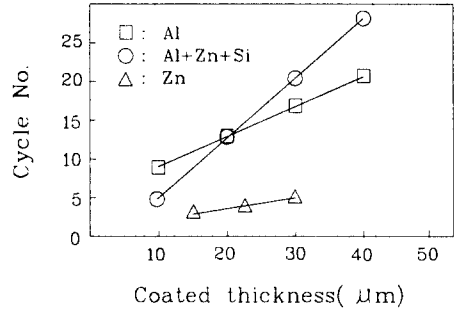


Fig. 7 Relationship between coated thickness and cycle no. (cycle :

1. (0.05N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01N HBr) 82°C dipping (8 sec/Hr)
2. Atmospheric gas(20Hr)
3. 260°C drying (2Hr)
4. Cooling (2Hr) )

Fig. 7은 갈바륨 강판을 부식면에서 가장 열악한 조건인 자동차의 배기관의 조건을 적용하여 발청이 시작되는 시기를 도금두께별로 나타낸 것이다. 도금두께가 20μm이하일 경우, 알루미늄이 우수하고 그 이상에서는 갈바륨이 우수하므로 최근에는 갈바륨 강판이 자동차의 배기관에 적용되고 있다.

Fig. 8은 습윤시험의 결과를 나타낸 것으로서 발청이 시작될 때까지의 시간을 나타낸 것이다. 아연도금 강판은 6천 시간만에 녹이 발생되었지만, 갈바륨 강판은 3만 5천시간만에 녹이 발생되어 약 6배정도 우수함을 알 수 있다.

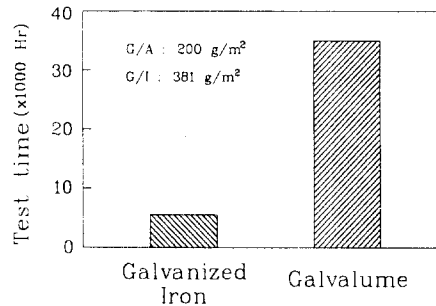


Fig. 8 Comparison for humidity test time of galvanized iron and galvalume (temperature: 50°C, humidity: 98%)

Fig. 9는 갈바륨 강판의 두께에 따른 인장전단강도의 변화를 나타낸 것으로서 평균값과 최저치가 두께에 따라 거의 직선적으로 변화함을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 용접 전류가 두께에 비례하여 많이 소요되어 용융깊이와 지름이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3) 두께별 용접전류와 인장전단강도의 변화

갈바륨 강판의 두께별 점용접의 특성을 비교하기 위하여 Fig. 9에서 보는바와 같이 용접된 시편을 45°비틀면서 상하로 분리시킨 결과, 강판의 두께가 2.0 mm 이상인 경우는 분리되면서 a)와 같이 용접부가 톱니모양으로 흔적이 남고, 2.0 mm 미만인 경우는 b)에서 보는바와 같이 한쪽 강판에 Nugget만한 구멍이 발생되었다.

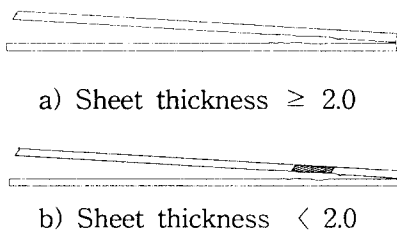


Fig. 9 Specimen of after twisting and separating test

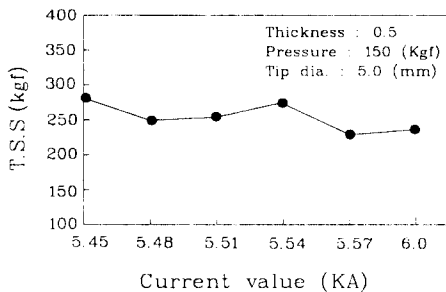


Fig. 10 Relationship between current value and tensile shearing strength (thin gauge)

Fig. 10은 두께 0.5 mm 강판을 점용접을 할 때 소요되는 용접전류의 증가에 대한 인장전단강도(Tensile shearing strength)의 변화를 나타낸 것이다. 용접전류의 변화에 대한 인장전단강도의 변화가 거의 없음을 볼 수 있어 매우 안정된 용접이 이루어짐을 알 수 있

다. 강판의 표면조도와 평탄도가 불량하여 가압력의 변화에 따른 결과라고 생각되며 전반적으로 전류의 증가에 따라 인장전단강도가 다소 증가되는 경향을 나타내어 매우 안정적인 점용접이 이루어졌음을 알 수 있다.

전기 저항용접의 전류변화에 따른 인장전단강도의 안정화가 중요한 것은 동일한 조건으로 수차례에 걸쳐 용접을 할 경우, 전류의 증가에 따른 전단 인장강도의 변화가 발생되어 균일한 강도유지가 어렵기 때문이다. 두꺼운 강판에서 일정한 압력을 유지하면서 용접을 해본 결과 Fig. 11과 같이 강판의 두께가 두껍고 전극의 직경이 크면 인장전단강도의 변화가 작게 나타나 안정적인 용접이 이루어짐을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 인장전단강도 측정시에 박판은 강판이 찢어지기 때문에 강도 측정시에 다소 오차가 발생되었고 강판의 평탄도의 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다.

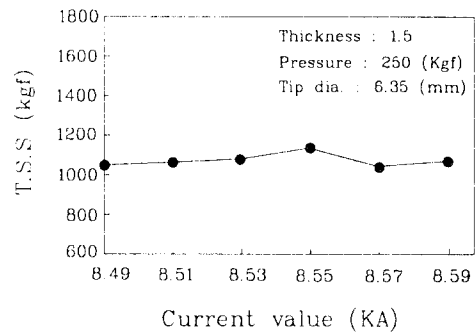


Fig. 11 Relationship between current value and tensile shearing strength (thick gauge)

### 4) 전극 팁의 형태와 수명

Table 5는 전극의 수명을 실험하기 위한 점용접의 조건을 나타낸 것으로서 강판의 두께는 0.6 mm이며, 가압력은 160 kg정도이며 전류는 11 kA이다.

Table 5 Condition of spot welding

| Sheet thickness (mm) | Current (A) | Pressure (kg) | Welding time (sec) | Tip diameter (mm) |
|----------------------|-------------|---------------|--------------------|-------------------|
| 0.6                  | 11,000      | 160           | 10/60              | 5.0               |

점용접으로 갈바륨 강판을 용접할 경우 가장 큰 문제점은 전극소모를 들 수 있는데 이를 개선하기 위하여 전극의 형상개선에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.<sup>3)</sup>

일반적으로 도금강판의 점용접에 사용되는 전극 팁의 형상은 Fig. 12와 같이 돔형과 돌출형이 많이 사용되고 있으나 c)와 같이 전극을 가공하여 수명 실험을 하였다.

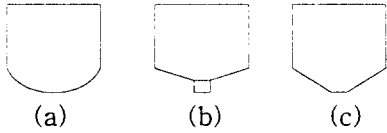


Fig. 12 Shape of electrode tip

Fig. 12의 a)는 돔형 팁으로 용접후 금속을 Pick up시키는 경향이 있기 때문에 용접 타점수가 많아짐과 더불어 전극면적이 증가되고 점차 전류밀도가 감소하여 용접이 잘 되지 않게 된다.

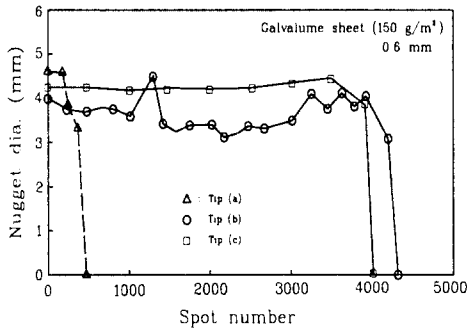


Fig. 13 Relationship between spot number and tip diameter

그리고 b)와 같이 끝부분을 돌출형으로 하면 돔형에 비하여 용접부가 균일한 장점이 있으나 전극의 가공이 어려운 단점이 있으므로 c)와 같이 돔형과 돌출형의 절충형인 개량형으로 실험한 결과를 Fig. 13에 나타냈다. 여기서 돔형의 전극인 경우는 용접 타점수가 300을 지나면서 전류의 집중부족으로 더 이상 사용할 수 없게 되지만, 돌출형인 경우는 4000회 이상에서 그 수명을 다하게 되는 것을 볼 수 있다.

Table 6은 앞에서 실험한 자료를 근거로 하여 두께별 용접작업 조건을 설정한 것으로서

현장에서 사용해본 결과 큰 문제가 없어 갈바륨 강판을 사용하고 있는 기업체에 이 데이터를 공급하여 현장적용을 하고 있다.

Table 6 Spot welding condition in the muffler of automobile

| Thickness (mm) | Current (A) | Pressure (kgf) | Welding time(sec) | Tip dia. (mm) |
|----------------|-------------|----------------|-------------------|---------------|
| 0.6            | 11,000      | 160            | 10/60             | 4.75          |
| 0.7            | 11,300      | 180            | 12/60             | 4.75          |
| 0.9            | 12,500      | 230            | 14/60             | 6.35          |
| 1.0            | 12,800      | 230            | 14/60             | 6.35          |
| 1.3            | 13,000      | 230            | 14/60             | 6.35          |
| 1.6            | 13,400      | 300            | 18/60             | 6.35          |

#### 4. 결론

갈바륨 강판의 내식성과 용접성, 그리고 용접전극의 수명 등에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

갈바륨 강판은 아연도금 강판에 비하여 전반적으로 내식성이 우수하며, 특히 해안지역에서 내식성이 우수할 뿐만 아니라, 습윤과 내수시험에서 우수함을 알 수 있다.

그리고 갈바륨 강판의 용접전류의 변화에 따른 인장전단강도는 두께가 두껍고 전극의 직경이 클수록 변화가 작으며, 전극모양은 돔형보다 돌출형의 수명이 길지만, 가공이 용이한 개량형 전극이 가장 적절하다.

#### 5. 참고 문헌

- 1) T. Hada, "Present and future trends of Coated Steel Sheet for Automotive Use", GALVATECH'89, ISIJ, pp. 111- 119, 1989
- 2) S.Koizumi, S.Shima, Y. Matsushima, "A Development of Black Chromate - Oxide Finishes by Baking Process for Galvanized Steel", GALVATECH'89, ISIJ, pp. 246-253, 1989
- 3) A. M. Kalson Jr, "Coated Steel Sheets in North America-An Automotive Perspective" GALVATECH '89, ISIJ, pp. 271-275, 1989