

대기압 Ar/O₂ 플라즈마 표면처리된 자동차용 냉연강판의 표면특성 및 접착특성평가

이찬주* · 이상곤* · 박근환** · 김병민†
(2007년 11월 9일 접수, 2008년 2월 27일 심사완료)

The Evaluation of Surface and Adhesive Bonding Properties for Cold Rolled Steel Sheet for Automotive Treated by Ar/O₂ Atmospheric Pressure Plasma

Chan-joo Lee, Sang-kon Lee and Byung-min Kim

Key Words : Atmospheric Pressure Plasma(대기압 플라즈마), Surface Treatment(표면처리), Adhesive Bonding Strength(접착강도), Cold Rolled Steel Sheet(냉연강판)

Abstract

Cold rolled steel sheet for automotive was treated by Ar/O₂ atmospheric pressure plasma to improve the adhesive bonding strength. Through the contact angle test and calculation of surface free energy for cold rolled steel sheet, the changes of surface properties were investigated before and after plasma treatment. The contact angle was decreased and surface free energy was increased after plasma treatment. And the change of surface roughness and morphology were observed by AFM(Atomic Force Microscope). The surface roughness of steel sheet was slightly changed. Based on Taguchi method, single lap shear test was performed to investigate the effect of experimental parameter such as plasma power, treatment time and flow rate of O₂ gas. Results shows that the bonding strength of steel sheet treated in Ar/O₂ atmospheric pressure plasma was improved about 20% compared with untreated sheet.

1. 서 론

구조용 접착제의 적용은 산업 전반에 걸쳐 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 자동차 산업에 있어 경량 추세에 의한 알루미늄 합금 및 고강도 강판 등의 사용으로 인하여 용접이 불가능한 경우가 발생하고 있으며, 이를 대체하기 위한 기술로써 구조용 접착제를 이용한 접착기술이 각광을 받고 있다. 최근의 연구결과에 따르면 접착제 적용전의 피접착물의 표면처리가 접착강도 및 수명 등에 중

요한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.^(1~4)

플라즈마 표면처리는 주로 폴리머 또는 금속박막코팅에 대해 적용되어 왔으나, 최근에는 진공분위기를 필요로 하지않는 대기압 플라즈마의 실제 생산공정의 자동화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대기압 플라즈마를 이용한 표면특성의 개선 및 표면 세정효과에 대한 연구가 진행되고 있다.⁽⁵⁾ 그러나 금속에 대한 대기압 플라즈마의 적용은 용접이 힘든 알루미늄과 같은 소재에 대하여 연구가 집중되고 있으나 최근에는 알루미늄과 강재를 동시에 사용한 이종소재 부품의 사용이 증가함에 따라 구조용 접착제 적용을 위한 강재의 접착특성 연구가 필요하다.⁽⁶⁻¹⁰⁾

본 연구에서는 Ar/O₂ 대기압 플라즈마를 이용하여 자동차용 강판을 표면처리하고 표면특성의 변화를 평가하였다. 플라즈마 표면처리에 의한 자동

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부
E-mail : bmkim@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-3074 FAX : (051)581-3075

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** ㈜성우하이텍 기술연구소

Table 1 The conditions of Ar/O₂ atmospheric pressure plasma surface treatment

Plasma Power [W]	150, 200, 250, 300, 350
Treatment Time[sec]	25, 50, 75, 100, 125
Flow rate of O ₂ Gas[sccm]	1, 2, 3, 4, 5
Temperature [°C]	25 ± 1

차용 강판의 표면특성 변화를 평가하기 위하여 접착각, 표면 자유에너지를 평가하였으며, AFM 을 이용하여 표면조도의 변화를 분석하였다. 구조용 접착제의 적용과 관련하여 표면처리에 의한 접착 특성 향상정도를 평가하기 위해 단일 겹치기 이음 시험(Single lap shear test)을 실시하였다.

2. Ar/O₂ 대기압 플라즈마 표면처리

2.1 자동차용 냉연강판의 전처리

본 연구에서는 자동차용 냉연강판인 SPRC 440 을 사용하였다. 강판의 표면에 존재하는 먼지 등과 같은 오염물질을 제거하기 위해 99.5% 에탄올 을 사용하여 5 분간 초음파 세척을 하였다.

2.2 대기압 플라즈마 표면처리

순도 99.99% 아르곤 가스와 산소 가스를 사용하여 대기압 플라즈마 표면처리를 상온에서 실시 하였다. 플라즈마 출력, 표면처리 시간 및 산소 유입량을 플라즈마 표면처리의 실험변수로 설정하였으며, 각 변수의 영향을 파악하기 위해 직교배열 표를 이용하여 실험배치를 하였다. 플라즈마 표면 처리 조건을 Table 1 에 나타내었다.

3. 표면특성 분석

3.1 접착각 측정 및 젖음성 평가

Ar/O₂ 대기압 표면처리된 냉연강판 위에 액체를 떨어뜨려 Fig. 1 과 같이 고체인 시험편과 액체 이 루는 접착각을 측정하였다. 본 연구에서는 증류수 와 다이요오드메테인(CH₂I₂)을 사용하였다. 접착각 θ 가 작다는 것은 시험편의 표면이 액체에 의해 잘 젖음(wetted)을 의미하며, 이것은 구조용 접착 제 적용시 냉연강판의 표면이 접착제에 의해 잘 도포되어 젖을 수 있는지를 정성적으로 판단할 수 있다. 접착제의 적용에 있어 표면의 젖음성은 Fig.

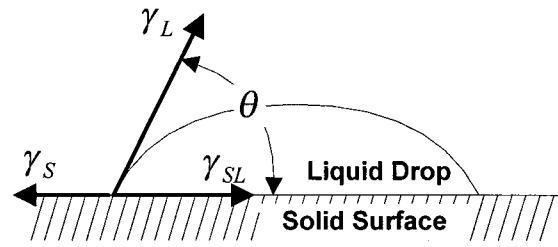


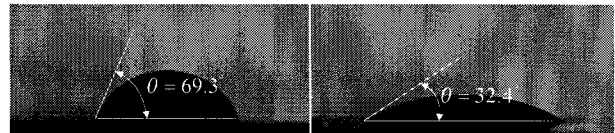
Fig. 1 Contact angle between liquid drop and solid surface in equilibrium state



(a) Good wetting

(b) Poor wetting

Fig. 2 The schematic principle of wetting after adhesive application on the substrate



(a) Before plasma treatment (b) After plasma treatment

Fig. 3 The change of contact angle before and after Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment

2 에 나타난 것과 같이 고체 표면과 접착제 사이의 인터로킹(interlocking)에 영향을 미친다. 젖음성이 좋을 경우 표면의 요철사이로 접착제가 흡착되어 접착제 경화후 좋은 접착강도를 나타내게 된다.

Fig. 3 에 플라즈마 표면처리하기 전과 처리 후 강판과 증류수의 접착각 변화를 나타내었다. 플라즈마 표면처리 후 접착각이 감소하였으며, 강판 표면의 젖음성이 향상된 것을 알 수 있다. 이를 통해 접착제 적용시 플라즈마 표면처리된 강판의 접착강도의 향상을 기대할 수 있다.

3.2 표면자유 에너지 평가

본 연구에서는 Ar/O₂ 대기압 플라즈마 표면처리된 자동차용 냉연강판의 표면특성을 정량적으로 평가하기 위하여 Owen 등이 제안한 방법을 사용하여 표면 자유 에너지를 평가하였다.⁽⁶⁾

이 방법은 두 종류의 액체를 이용하여 측정된 접착각을 이용하여 자유 에너지를 구하는 방법으로 분산요소(Dispersion components)와 극성요소(Polar componets)의 합으로 자유에너지를 정의한다. 고체와 액체 사이의 계면 자유에너지는 접착각과의 관계에 의해 식 (1)과 같다.

Table 2 The dispersion (γ_L^d), polar(γ_L^p) components and free energy of distilled water and diiodomethane

Liquid	γ_L^d [mJ/m ²]	γ_L^p [mJ/m ²]	γ_L [mJ/m ²]
Water	21.8	51.0	72.8
Diiodomethane	48.5	2.3	50.8

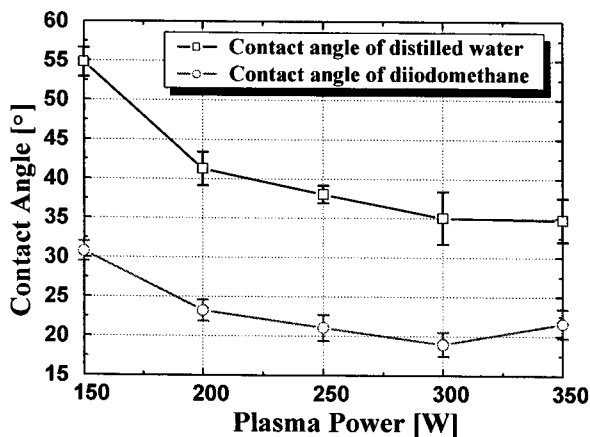


Fig. 4 Changes of contact angle with Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment power

$$\gamma_L(1 + \cos\theta) = 2 \left\{ (\gamma_S^d \gamma_L^d)^{0.5} + (\gamma_S^p \gamma_L^p)^{0.5} \right\} \quad (1)$$

증류수와 다이요오드메테인의 접촉각을 이용하여 고체의 자유에너지를 계산할 수 있다. Table 2에 본 연구에서 사용한 증류수와 다이요오드메테인의 분산요소, 극성요소 및 자유에너지를 나타내었다.

A. Dupr 는 식 (2)와 같이 고체와 액체가 서로 접촉하였을 때의 자유 에너지의 변화를 나타내었다.⁽¹¹⁾

$$W_A = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} \quad (2)$$

계면 자유에너지 γ_{SL} 이 작을수록 접촉일인 W_A 가 커진다. 또한 접촉각이 작을수록 계면의 자유에너지가 감소하며, 접촉일 W_A 가 증가하는 것을 식 (1)과 (2)로부터 알 수 있다. 접촉일 W_A 가 클수록 우수한 접촉강도를 나타내므로, 고체의 표면과 액체방울이 이루는 접촉각이 작을수록 우수한 접촉강도를 나타낼 것으로 예상할 수 있다.

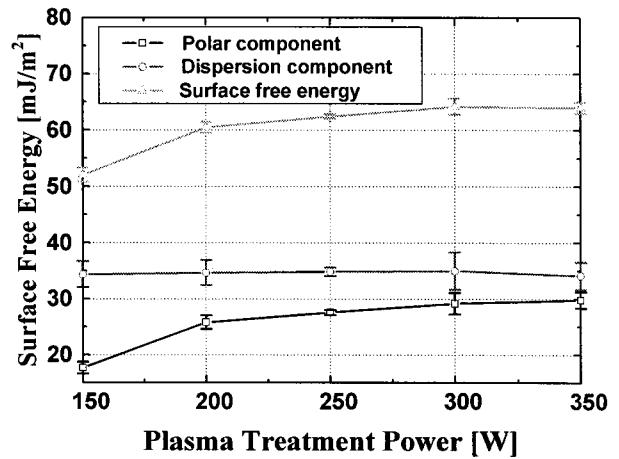


Fig. 5 Changes of surface free energy with Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment power

3.3 플라즈마 처리조건에 따른 표면특성

3.3.1 플라즈마 출력의 영향

플라즈마 발생기의 안정된 출력범위를 고려하여 본 연구에서는 플라즈마 출력을 150 ~ 350[W]까지 증가시키면서 접촉각의 변화를 관찰하였다. 이 때 표면처리시간은 20 초이며, 산소 유입량은 1[scm]으로 고정하였다. 플라즈마 출력이 증가함에 따라 접촉각이 감소하는 경향을 나타내었다. 표면 자유에너지는 접촉각이 감소함에 따라 증가하였다. 플라즈마 표면처리에 의해 표면에 생성된 라디칼의 영향으로 표면 자유에너지의 극성요소가 증가함을 관찰할 수 있었다. Fig. 4에 플라즈마 출력변화에 따른 접촉각의 변화를 나타내었다. Fig. 5에 표면 자유에너지와 분산요소 및 극성요소의 변화를 나타내었다.

Tang 등에 의하면 플라즈마 출력이 작을 경우, 시험편 표면에 산화물을 생성시키기 위한 충분한 에너지를 제공하지 못한다.⁽⁶⁾ 즉 플라즈마에 의한 표면의 산화물 형성이 충분치 못하고, 친수성의 산화물층을 표면에 형성할 수 없기 때문에 젖음성을 향상시킬 수 없어 접촉각의 변화가 표면처리 전과 비교하여 크게 나타나지 않는다. 반대로 플라즈마의 출력이 증가할수록 표면에 친수성의 산화물이 잘 형성되어 접촉각이 작아지며, 표면의 젖음성이 좋아진다. 본 연구에서는 300[W]이상에서의 플라즈마 표면처리 효과는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 표면의 산화물 형성에 필요한 적정 에너지보다 많은 에너지가 초과 제공되어 더 이상 친수성 산화물을 표면에 형성할 수 없기 때문으로 판단된다.

또한 Tang 등은 플라즈마 출력이 높을 경우 표

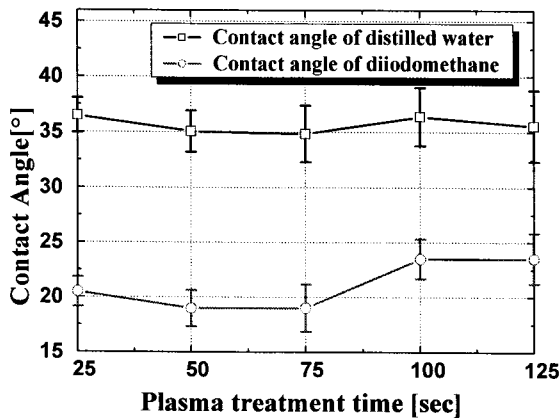


Fig. 6 Changes of contact angle with Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment time

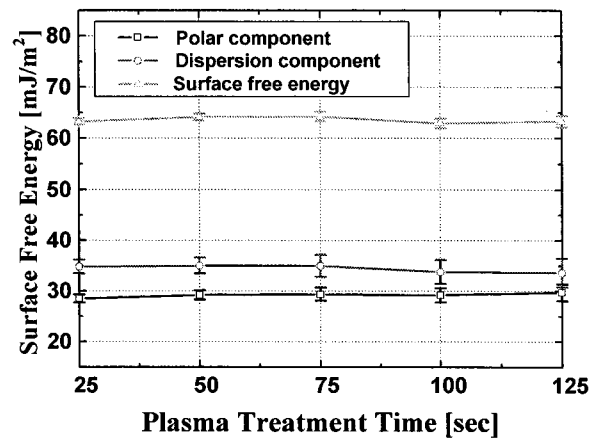


Fig. 7 Changes of surface free energy with Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment time

면에 과잉에너지 공급에 의하여 부분적으로 비반응성 산소입자층이 형성된다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 플라즈마 출력이 300[W] 이상에서 표면 자유에너지의 편차가 최대 $\pm 1.423[mJ/m^2]$ 으로 상대적으로 300[W] 이하에서 보다 크게 나타났다. 이러한 불균일한 표면 자유에너지 분포는 접착제 적용시 표면의 균일한 젖음성을 보장하지 못한다.

3.3.2 플라즈마 표면처리 시간의 영향

플라즈마 표면처리 시간을 25 ~ 125 초까지 증가시키면서 시험편 표면의 접촉각 및 표면 자유에너지 변화를 평가하였다. 이 때 플라즈마 출력은 300[W], 산소유입량은 1[sccm]으로 고정하였다. 플라즈마 처리시간이 증가함에 따라 특정 시점까지는 접촉각은 감소하지만 산화물이 표면에 충분히 생성된 이후에는 접촉각이 증가하는 경향이 나타났다. 본 연구에서는 50 ~ 75 초 사이에서 가장 작은 접촉각을 가졌다. Fig. 6 과 Fig. 7 에 플라즈마 표면처리 시간에 따른 접촉각의 변화 및 표면 자유에너지 변화를 나타내었다.

장시간 플라즈마에 노출된 강판의 표면은 특정 시점까지는 표면의 산화물이 형성됨에 따라 접촉각이 감소하지만, 산화물이 표면에 충분히 생성된 이후에는 산화물 층위에 비반응성 산소입자층이 형성되어 액체의 흡착을 방해하기 때문이다.⁽¹¹⁾ 표면 자유에너지의 경우 75 초 이후 감소하는 경향이 나타났으나 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 그러나 장시간의 플라즈마 처리된 표면은 과잉에너지 공급에 의해 표면의 불균일성이 증가하였다. Fig. 7 에 나타난 것과 같이, 표면 자유에너지의 편차가 처리시간이 증가함에 따라 $\pm 0.562[mJ/m^2]$ 에서 $\pm 1.141[mJ/m^2]$ 까지 증가하였다.

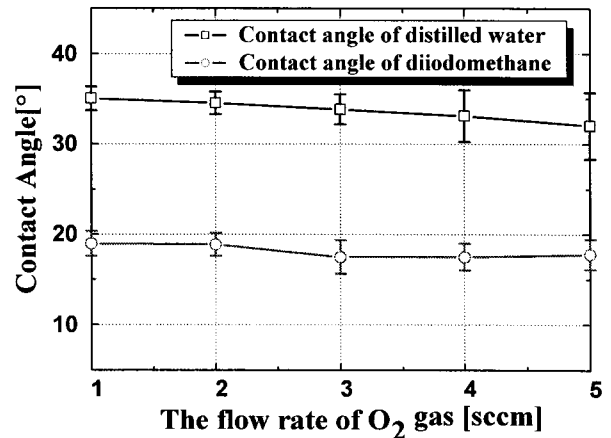


Fig. 8 Changes of contact angle with the flow rate of O₂ gas of Ar/O₂ atmospheric pressure plasma

3.3.3 산소유입량의 영향

산소유입량에 따른 접촉각 및 표면 자유에너지 변화를 관찰하였다. 산소유입량은 본 연구에서 사용된 플라즈마 발생기의 안정된 출력을 유지할 수 있는 범위인 1 ~ 5[sccm]까지 증가시켰으며, 이 때의 플라즈마 출력은 300[W], 표면처리시간은 50 초로 하였다. 산소유입량에 따른 접촉각의 변화는 크게 없었으나, 산소유입량이 증가함에 따라 접촉각이 감소하는 경향을 나타내었다. 표면 자유에너지 역시 큰 변화는 없었으나 접촉각이 감소함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 8 과 Fig. 9 에 산소유입량에 따른 접촉각의 변화 및 표면 자유에너지 변화를 나타내었다.

냉연강판의 표면에 산화물을 형성하기 위해서는 Fe 와 결합할 수 있는 산소입자가 필요하다. 산소유입량이 증가하면 표면에 산화물을 형성할 수 있는 충분한 산소입자가 제공되기 때문에 접촉각이

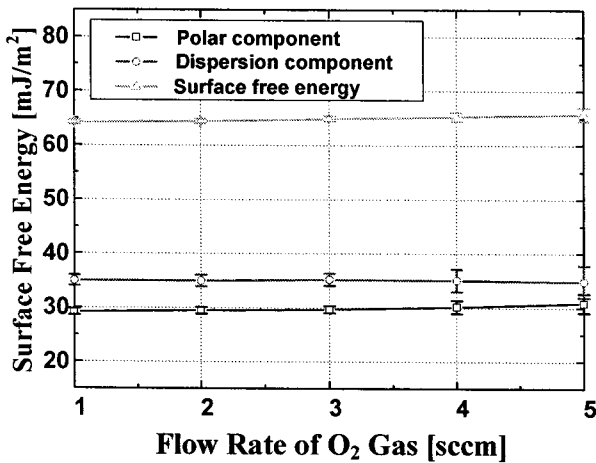


Fig. 9 Changes of surface free energy with the flow rate of O₂ gas of Ar/O₂ atmospheric pressure plasma

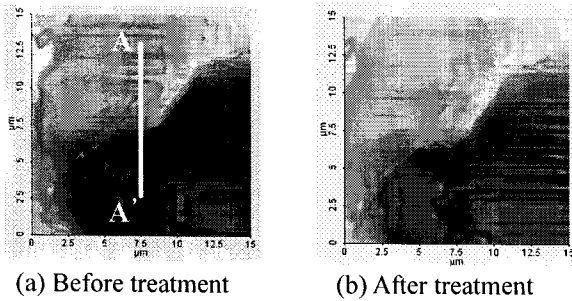


Fig. 10 The change of surface morphology before and after Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment obtained by AFM

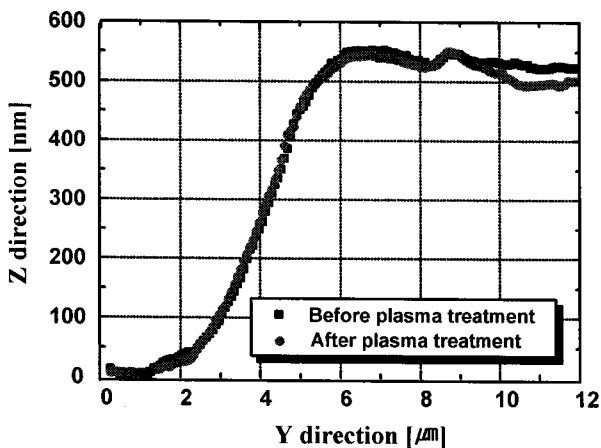


Fig. 11 Changes of section A-A' profile before and after Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment

감소하고, 젖음성이 좋아진다.⁽⁹⁾ 과도한 산소유입량은 비반응성 산소입자층 형성을 초래할 수 있다. Fig. 9 에 나타난 것과 같이 표면 자유에너지의 편차가 산소유입량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 산소 유입량이 5[sccm]일 때, 표면 자유에너지의 편차는 $\pm 1.198[mJ/m^2]$ 으로 나타났다.

Table 3 Surface roughness before and after Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment

Roughness	R_{rms} [nm]	R_a [nm]	R_z [nm]
Before Treatment	265.04	232.43	915.16
After Treatment	272.21	235.60	1007.69

3.4 표면조도의 변화

Ar/O₂ 대기압 플라즈마 표면처리 후 냉연강판의 표면조도 변화를 확인하기 위해 AFM 을 이용하여 표면 스캐닝을 수행하였다. Kim, Shin, Critchlow 등에 의하면 플라즈마 표면처리 후 금속 표면의 변화는 거의 없는 것으로 보고되었다.⁽⁶⁻⁸⁾ 플라즈마 처리시 플라즈마에 의해 표면이 산화되어 표면 조도의 변화가 발생한다. 그러나 그 양이 크지 않기 때문에 일반적인 조도 측정에 의해서는 판단할 수 없다. 본 연구에서는 AFM 을 이용하여 플라즈마 표면 전과 후의 동일한 위치에서 표면조도의 변화를 관찰하였다. Fig. 10 은 냉연강판의 Ar/O₂ 대기압 플라즈마 표면처리 전과 후의 동일한 위치에 대한 AFM 이미지이며, 분석결과 morphology 의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 산화에 의한 변화가 부분적으로 나타났다. 산화에 의한 표면조도의 변화량을 평가하기 위해 Fig. 10 에 표시된 라인을 따라 플라즈마 표면처리 전과 후의 프로파일(profile)을 Fig. 11 에 나타내었다. Table 3 는 15X15[μm] 범위의 표면조도를 평가한 결과이다.

플라즈마 표면처리 전후를 비교하여 R_{rms} 과 R_a 는 3 ~ 7[nm]의 변화를 나타내었으며, R_z 는 92[nm]의 변화가 나타났다. 실험적 오차를 감안했을 때 표면조도를 판단하기 어렵다. 즉 표면조도의 변화는 거의 없는 것으로 판단된다. 플라즈마 표면처리에 의한 표면조도의 변화는 수십나노스케일의 아주 작은 범위에서 변하므로 Fig. 11 과 같이 윤곽 데이터를 통해 비교하는 방법이 정확할 것으로 판단된다. Fig. 11 에서 산화에 의한 표면윤곽의 변화는 접착제의 적용시 실제접착면적을 증가시켜 접착강도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 접착특성평가

4.1 단일접치기 이음시험

단일 접치기 이음시험편은 ASTM D1002 규격에 의해 제작하였으며, INSTRON 8516 을 이용하여 시

험을 실시하였다. Fig. 12 은 본 연구에서 사용한 단일 겹치기 이음시험편의 형상이다. 단일 겹치기 이음시험편의 접착부 평균 전단 강도 S 는 식 (3) 과 같이 평가하였다.

$$S = (\text{Max. Load}) / (\text{Bonded Area}) \quad (3)$$

본 연구에서 사용한 접착제는 자동차용 구조용 에폭시 접착제로서 180℃ 열경화성 접착제이다. 접착제의 두께는 0.2[mm]로 일정하게 유지하기 위해 직경 0.2[mm] 선재를 삽입하여 예비시험편을 제작 후 일정한 폭으로 절단하여 최종시험편을 제작하였다.

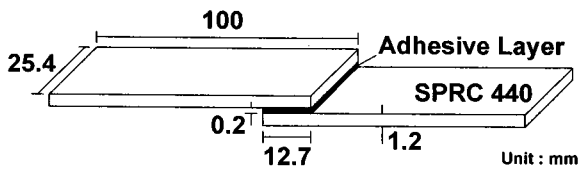
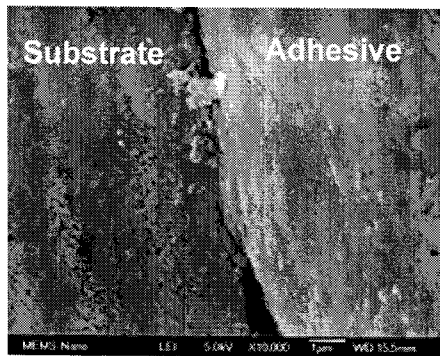
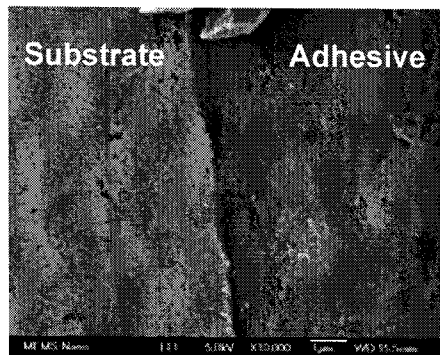


Fig. 12 The shape and dimension of the single lap shear joint with SPRC 440 substrate



(a) Interface of untreated steel sheet



(b) Interface of plasma treated steel sheet

Fig. 13 The adhesion state at the interface between the adhesive and cold rolled steel sheet before and after Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment

4.2 접착상태 평가

플라즈마 표면처리에 의해 개질된 냉연강판에 구조용 에폭시 접착제를 적용하여 강판의 표면과 접착제 계면의 접착상태를 SEM 을 이용하여 관찰하였다. 구조용 에폭시 접착제는 점도가 높기 때문에 본 연구에서는 접착각 측정시험과는 달리 접착제를 강판의 표면에 도포후 압력을 가하여 강제 접착을 시켰다. 강제 접착시 식 (2)와 같이 접착각의 영향이 없을 수 있으나, 실제 강판의 표면이 가진 표면자유에너지에 의해 표면의 젖음성과 접착특성의 관계를 파악할 수 있다. Fig. 13 은 플라즈마 표면처리 전 강판과 처리 후 강판에 접착제를 적용하여 접착계면을 관찰한 SEM 이미지이다.

플라즈마 표면처리 전 강판은 Fig. 13(a)에 나타난 것과 같이 강판의 표면과 접착제 사이에 공극이 존재한다. 반대로 Fig. 13(b)와 같이 플라즈마 표면처리된 강판의 경우, 강판의 표면과 접착제가 서로 잘 접착되어 있음을 볼 수 있다. 이는 플라즈마 표면처리에 의해 젖음성이 향상되어 강판의 표면 요철사이로 잘 흡착되었기 때문이다. 강판의 표면과 접착제가 서로 잘 인터로킹되었을 경우 충분한 접착강도를 얻을 수 있으므로, 플라즈마 표면처리를 통해 강판의 접착특성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 접착강도평가

Ar/O₂ 대기압 플라즈마 표면처리 공정시 공정변수들의 영향을 평가하기 위해 직교배열표를 이용하여 실험배치를 하고 다구짜 방법(Taguchi method)을 이용하여 공정변수들이 접착부 전단강도에 미치는 영향을 평가하였다.⁽¹²⁾

플라즈마 표면처리 전의 접착부 전단강도는 24.63[MPa]이었으며, 표면처리 후에는 최대 34.56[MPa], 평균 30.24[MPa]로 약 20% 정도의 전단강도가 증가하였다. 이것은 플라즈마 표면처리를 이용하여 자동차용 냉연강판의 표면특성을 변화시켜 접착특성을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

4.3.1 플라즈마 출력과 접착강도

Fig. 14 에 플라즈마 출력변화에 따른 접착강도의 변화를 나타내었다. 플라즈마 출력이 증가함에 따라 접착강도가 증가하지만 200[W]이상에서는 증가경향이 크게 나타나지 않았다. 이러한 경향은 앞장에 분석한 표면특성과 동일하며, 플라즈마 출력 200[W] 이상에서 30MPa 이상의 접착강도를 얻을 수 있었다. 350[W]의 출력에서는 접착강도가

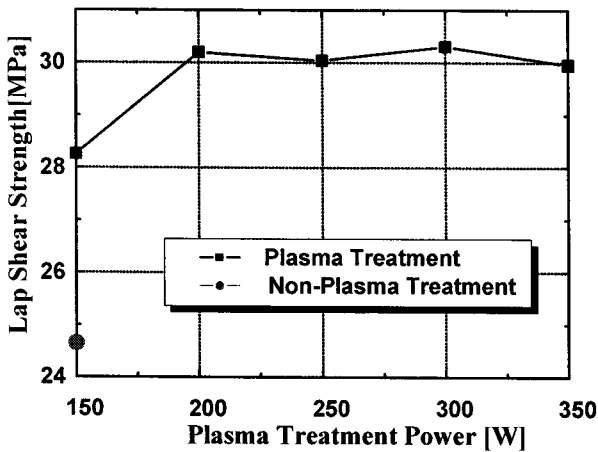


Fig. 14 The change of adhesive bonding strength with Ar/O₂ atmospheric pressure plasma power

작게 나타났다. 이것은 표면의 불균일성에 의한 것으로 판단된다.

플라즈마 출력이 낮아 충분한 표면처리가 되지 않아 표면의 젖음성을 충분히 보장하지 못했기 때문에 충분한 접착강도를 가지기 힘들며, Fig. 15(a)에서와 같이 강판의 표면과 접착제의 계면에서의 파괴가 발생한다. 반대로 플라즈마 출력이 높을 경우, 표면에 에너지가 과잉공급되어 부분적으로 과잉산화되거나 비반응성 산소입자층의 형성에 의해 젖음성과 같은 표면특성의 균일성이 감소한다. 이러한 표면특성의 불균일함은 Fig. 15(b)와 같은 부분적인 계면파괴를 유발하며, 이것은 접착구조물의 접착강도를 떨어뜨린다. 플라즈마 표면처리를 실공정에 적용하기 위해서는 적절한 플라즈마 출력을 설정하여 표면의 불균일함에 의한 부분적 계면파괴를 방지해야 한다.

4.3.2 표면처리 시간과 접착강도

Fig. 16은 표면처리시간이 접착강도에 미치는 영향을 평가한 것이다. 표면처리 시간에 따른 접착강도는 50 초에서 가장 높았으며, 이후 점차적으로 감소하였다. 이러한 특정시점 이후 접착강도의 감소경향은 냉연강판의 표면이 플라즈마에 장시간 노출되면서 표면의 산화물층 위에 생성된 산소입자층의 분포가 표면처리시간이 증가함에 따라 같이 증가때문이다. 비반응성 산소입자층의 분포가 증가함에 따라 접착제와 금속 산화물층의 직접적인 접촉면적이 감소하기 때문에 접착강도가 감소한다. 플라즈마 표면처리를 실공정에 적용하기 위해서는 적절한 표면처리시간을 설정하여 비반응성 산소입자층의 형성을 최대한 줄여야 할 것으로 판단된다.

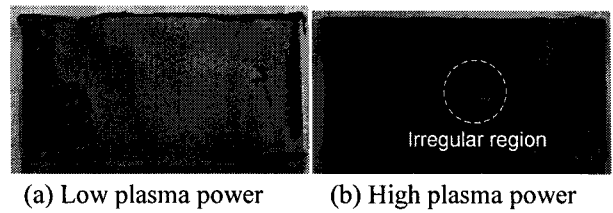


Fig. 15 The change of adhesive bonding strength with Ar/O₂ atmospheric pressure plasma power in single lap shear test

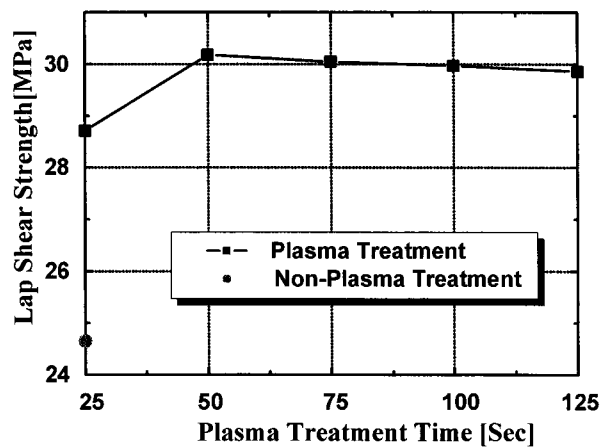


Fig. 16 The change of adhesive bonding strength in single lap shear test with Ar/O₂ atmospheric pressure plasma treatment time

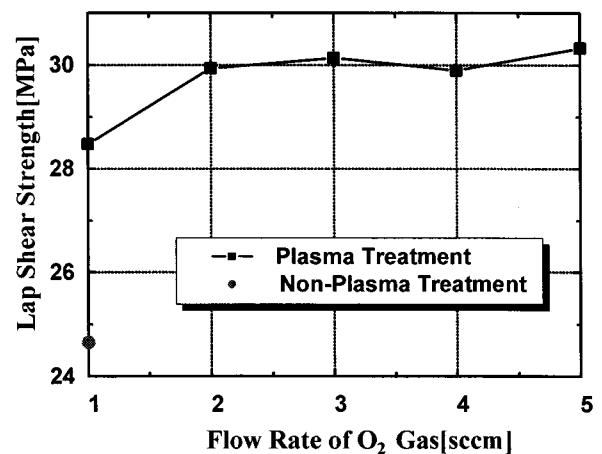


Fig. 17 The change of adhesive bonding strength in single lap shear test with the flow rate of O₂ gas

4.3.3 산소유입량과 접착강도

산소유입량이 증가할수록 접착강도 또한 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 17에 산소유입량에 따른 접착강도의 변화를 나타내었다. 산소유입량이 많을수록 표면의 금속원자와 반응할 수 있는 산소입

자가 많아지기 때문에 금속표면에 산화물을 잘 형성할 수 있다. 그러나 산소유입량이 많으면 플라즈마의 출력유지가 어렵기 때문에 표면의 불균일을 유발시킬 수 있다. 또한 안정적인 플라즈마 출력을 유지하기 위해 플라즈마의 출력을 높일 경우에는 높은 전압을 인가해야하므로 플라즈마 표면처리시 표면처리의 균일성이 떨어질 수 있기 때문에 적절한 산소유입량을 결정해야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 자동차용 냉연강판인 SPRC 440의 표면에 Ar/O₂ 대기압 플라즈마 표면처리를 적용하여 표면특성을 평가하였으며, 표면특성을 변화시켜 구조용 에폭시 접착제에 대한 냉연강판의 접착특성을 향상시켰다. 표면분석과 접착특성평가를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 플라즈마 표면처리된 자동차용 냉연강판은 젖음성 및 표면자유에너지가 증가하여 구조용 에폭시 접착제 적용시 강판의 표면과 접착제의 계면에서 공극이 발생하지 않고 서로 잘 인터로킹됨을 SEM을 통하여 관찰하였다.

(2) 플라즈마 출력이 증가함에 따라 젖음성 및 표면 자유에너지가 증가하였다. 그러나 300[W] 이상의 플라즈마 출력에서는 접촉각의 분산폭이 증가하였으며, 접착제 적용시 계면에서의 접착부 파괴가 발생하여 접착강도를 감소하였다.

(3) 표면처리 시간 50[sec]까지는 시간이 증가함에 따라 젖음성 및 표면 자유에너지가 증가함을 확인하였으며, 이 후에는 젖음성 및 접착부의 접착강도가 감소하였다.

(4) 산소유입량이 많을수록 젖음성 및 접착강도가 증가하였다.

(5) Ar/O₂ 대기압 플라즈마 표면처리된 자동차용 냉연강판의 접착특성을 단일접치기 이음시험으로 평가한 결과 표면처리전과 비교하여 약 23%의 접착강도 향상효과를 확인하였다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(M60601010004-06E0101-00400)

참고문헌

(1) Satoh, T., Miyazaki, Y., Suzukawa, Y. and

- Nakazato, K., 1996, "On the Development of Structural Adhesive Technology for the Automotive Body in Japan." *JASE Review*, Vol. 17, pp.165 ~ 178.
- (2) Barnes, T. A. and Pashby, I. R., 2000, "Joining Techniques for Aluminium Spaceframes Used in Automobiles Part II – Adhesive Bonding and Mechanical Fasteners," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 99, pp.72~79.
- (3) Chung, H. J., Rhee, K. Y., Han, B. S. and Ryu, Y. M., 2007, "Plasma Treatment Using Nitrogen Gas to Improve Bonding Strength of Adhesively Bonded Aluminum Foam/Aluminum Composite," *Journal of Alloys and Compounds*, In press.
- (4) Darteville, C., McAlpine, E., Thompson, G. E. and Alexander, M. R., 2003, "Low Pressure Plasma Treatment for Improving the Strength and Durability of Adhesively Bonded Aluminum Joints," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 173, pp. 249 ~ 258
- (5) Kim, M. C., Yang, S. H., Boo, J. H. and Han, J. G., 2003, "Surface Treatment of Metals Using an Atmospheric Pressure Plasma Jet and Their Surface Characteristics," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 174~175, pp.839 ~ 844
- (6) Tang, S., Kwon, O. J., Lu, N. and Choi, H. S., 2005, "Surface Characteristics of AISI 304L Stainless Steel After an Atmospheric Pressure Plasma Treatment," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 195, pp. 298 ~ 306.
- (7) Critchlow, G. W., Webb, P. W., Tremlett, C. J. and Brown, K., 2000, "Chemical Conversion Coatings for Structural Adhesive Bonding of Plain Carbon Steels," *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Vol. 20, pp. 113 ~ 122
- (8) Shin, D. H., Bang, C. U., Kim, J. H., Han, K. H., Hong, Y. C., Uhm, H. S., Park, D. K. and Kim, K. H., 2007, "Modification of Metal Surfaces by Microwave Plasma at Atmospheric Pressure," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 201, pp. 4939 ~ 4942.
- (9) Noh, B. I., Seok, C. S., Moon, W. C. and Jung, S. B., 2007, "Effect of Plasma Treatment on Adhesion Characteristic at Interfaces Between Underfill and Substrate," *International Journal of Adhesion & Adhesive*, Vol. 27, pp. 200 ~ 206.
- (10) Rhee, K.Y., Yang, J. H. and Choi, N. S., 2001, "Effect of Aluminum Treatment by Plasma on the Bonding Strength Between Aluminum and CFRP Composite," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 25, No. 12, pp. 1981 ~ 1987.
- (11) Kim, H. J., Lim, W. W. and Cho, K. W., 2002, Basic Theory of Adhesion(Korean), *The Society of Adhesion and Interface*, pp. 41~78.
- (12) Park, S. H., 1997, Modern Design of Experiments (Korean), Minyoungsa, pp. 632 ~ 657.