

## 편마찰 실험을 이용한 합금화 온도별 GA 강판의 마찰특성에 관한 연구

전성진\*, 이정민\*, 김상주\*\*, 김병민#

### A study on frictional characteristics in galvanized sheet steel using one flat friction test

Sung Jin Jeon\*, Jung Min Lee\*, Sang Ju Kim\*\* and Byung Min Kim#

#### ABSTRACT

As GA(Galvanized sheet steel, GA) has good corrosion resistance, weldability and paintability as well as excellent stamping formability its demand is rapidly increasing for automotive panel. But the layer of the Galvanized sheet steel is easy to have a coating layer such as powdering and flaking in the press process because it is composed of Fe-Zn alloy. Therefore, the process condition is properly required to form the surface treated sheet steel. The frictional characteristics with dies are changed according to the annealing temperature, 505°C, 515°C and 540°C during the process. To obtain the frictional characteristics of GA sheet steel in this study, on flat friction test is conducted. The friction coefficient is compared with the variation of pressure and velocity, viscosity of lubricant at the various galvanized temperatures.

**Key Words** : One flat friction test(편마찰 실험), Friction coefficient(마찰계수), Friction characteristics(마찰특성), Galvanized sheet steel(합금화 용융도금강판), Coating layer(도금층)

#### 1. 서론

최근 자동차 차체의 부식에 대한 대책으로 종래의 일반 냉연강판(Cold rolled sheet steel, CR)을 대체하여 아연계 도금강판의 사용이 증가함에 따라 내부식성, 강성 등의 향상을 위해 각종 표면처리 강판이 개발되어 광범위하게 사용되고 있다.

표면처리강판 중 용융아연도금 후 고온에서 재가열하여 도금층 속의 철을 확산시켜 Fe-Zn 합

금층을 형성시키는 합금화 용융아연도금강판(Galvanized sheet steel, 이후 GA 강판)은 연속 생산라인에서 대략 수  $\mu\text{m}$ 의 두께로 코팅된다.

GA 강판은 순수 Zn 도금강판보다 우수한 스탬핑 성형성(Stamping formability), 용접성(Weldability), 내식성(Good corrosion resistance)을 갖는다. 이렇게 도금된 GA 강판은 자동차 차체, 자동차 부품 등의 제조를 위한 성형공정에 이용된다. 그러나 여러 종류의 취약한 Fe-Zn 금속간 화합물로 되어 있어

접수일: 2005년 05월 xx일; 게재승인일: 200x년 xx월 xx일  
\* 부산대학교 정밀기계공학과  
\*\* 연스타리온  
# 교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과  
E-mail: [bmkim@pusan.ac.kr](mailto:bmkim@pusan.ac.kr) Tel. (051) 510-3074

자동차의 프레스 성형공정에서 파우더링 (Powdering), 플레이킹(Flaking)과 같은 형태의 도금층 박리를 일으키기 쉽기 때문에 성형공정 시 합금화열처리 등의 적절한 처리조건이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 도금층의 마찰특성 파악에 대한 연구들이 선행되어 왔다.<sup>1</sup> GA 강판은 합금화 온도에 따라 서로 다른 기계적 특성 및 마찰특성을 가진다. 여기서는 합금화 온도에 따라 모두 3 가지(505℃, 515℃, 540℃ 이후 505, 515, 540)의 GA 강판을 채택하였다. 따라서 본 연구에서는 합금화 온도에 대한 GA 강판에 대해 소재 평균 표면조도, 속도, 압력, 윤활제의 점도 변화에 따라 각각 다른 실험조건을 통해 마찰계수를 비교하기 위해 수행되었으며, 주사전자현미경(Scanning electron microscope)을 통해 도금층의 두께를 알아 보고 도금상을 관찰하였다.

## 2. 마찰특성 결정 방법

합금화 온도별 GA 강판의 마찰특성을 고찰하기 위해 소재의 표면조도를 측정하고 압력변화, 속도변화, 윤활유의 종류에 따른 각각의 실험 조건에 따라 도출된 마찰계수를 비교함으로써 마찰 특성을 평가한다.

Table 1 은 압력에 대한 편마찰 실험조건이다. 일정한 마찰속도에서 가압력의 증가에 따라 마찰 계수의 영향을 고찰한다. Table 2 는 속도에 대한 편마찰 실험조건이다. 일정한 가압력에서 속도의 증가에 따른 마찰계수의 영향을 고찰한다. Table 3 은 윤활유의 종류에 대한 편마찰 실험조건이다. 각각의 마찰속도와 가압력의 실험조건에 대해 방청유와 세정유 사용에 따른 마찰계수 영향을 고찰한다. Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)에서 각각의 다이는 면압의 변화에 따른 마찰계수의 영향을 알아보기 위해 금형의 크기를 다르게 제작하였다. 실제 마찰에 관한 많은 연구<sup>2</sup>가 있긴 하지만 본 연구와 같은 특정 강판의 합금화 온도에 대한 실험 예는 미흡하다. Table 4 는 합금화 온도별 GA 강판의 편마찰 실험 전 평균 표면조도를 측정한 값이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 도금층의 특성

Fig. 2 는 SEM 촬영에 의한 도금층의 합금화 온도에 따른 표면상태를 나타낸다. 일반적으로 GA

Table 1 Conditions of pressure in one flat friction test

Specimens	Pressure	Sliding speed
505	4MPa	10 mm/sec
515	20MPa	
540	80MPa	

Table 2 Conditions of sliding speed in one flat friction test

Specimens	Pressure	Sliding speed
505	80MPa	10 mm/sec
515		30 mm/sec
540		

Table 3 Conditions of lubricant in one flat friction test

Specimens	Lubricant 1	Lubricant 2
505	Rust prevent oil (BW-90EG)	Washing oil (P-340N)
515		
540	18.6cst, 40℃	2.9cst, 40℃

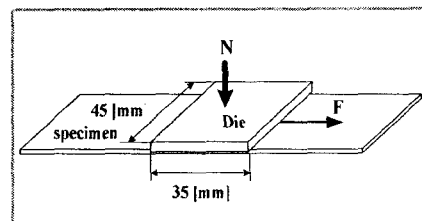


Fig. 1(a) Schematic drawing of friction test 1

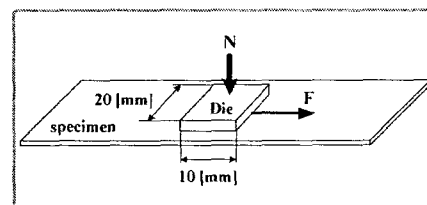


Fig. 1(b) Schematic drawing of friction test 2

Table 4 Average surface roughness on GA sheet steel

Specimens	0 degree	90 degree
465	0.814 $\mu$ m	0.739 $\mu$ m
505	0.792 $\mu$ m	0.722 $\mu$ m
515	0.757 $\mu$ m	0.714 $\mu$ m
540	0.712 $\mu$ m	0.693 $\mu$ m

Table 5 Experimental conditions for one flat friction test

Conditions	Galvannealed sheet steel		
	Specimens	505	515
Sheet size(mm)	40*250		
Sheet thickness(mm)	0.7		
Die treating coating	Cr-conditions		

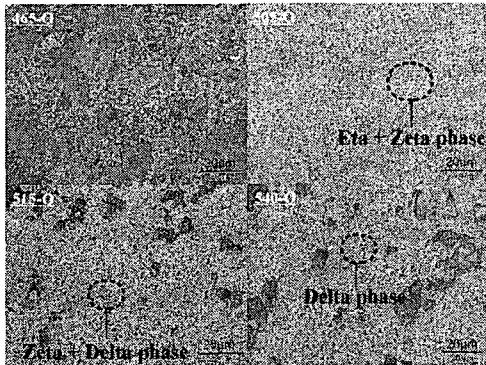


Fig. 2 Scanning electron micrograph of coated layer on temperature variation of galvannealed sheet steel on the surface

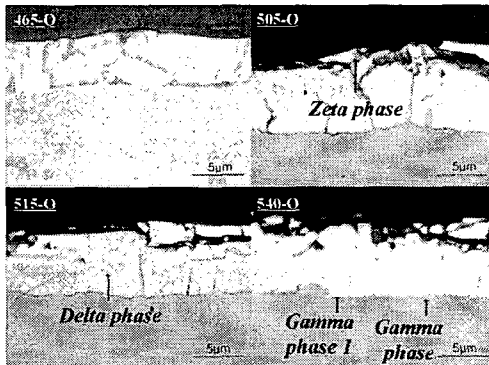


Fig. 3 Scanning electron micrograph of coated layer on temperature variation of galvannealed sheet steel in the thickness direction

강판은 도금층 중에  $\eta$ ,  $\delta$  이 공존하는데 합금화 온도가 낮을수록 Fe 함량이 낮아져 연결인  $\eta$  상이 도금층 내에 많이 존재하며, 합금화 온도가 높을수록 Fe 함량이 높아지면서  $\delta$  상이 도금층 내에 많아지고 상대적으로  $\eta$  상은 적어진다.<sup>3</sup> 465 시편의 경우 어닐링 과정(GI→GA)이 완전히 못하여 불완전한 델타상(Delta phase) 조성을 가지며 전체

적으로 상당히 울퉁불퉁한 표면을 이루고 있다. 합금화 온도가 높을수록  $\delta$ ,  $\Gamma$  상이 성장하며 전반적으로 고르게 분포하는 특징을 보인다. 특히  $\Gamma$  상 경우는 도금층과 모재의 경계면에 존재하는 금속간 합금(Intermetallic alloy)이다. 540의 경우는 균일한 미세 도금 결정립을 갖고 있어서 표면이 고른 경향을 보인다. Fig. 3는 도금층의 두께방향으로 SEM 촬영을 한 것으로 도금층의 두께는 5~7  $\mu\text{m}$  정도이고, 도금상의 분포상태를 알 수 있다.

Table 5는 편마찰 실험을 수행하기 위한 시편과 마찰금형의 조건이다. 마찰금형은 경질의 Cr 코팅을 하였고, 실험은 상온에서 수행하였다.

GA 강판과 같은 표면처리강판은 프레스성형 중 파우더링(Powdering)과 플레이킹(Flaking)과 같은 피막손상을 받는다. 파우더링은 도금층 두께보다 작은 입자들이 분상으로 탈락되는 형태이며 벌크 소성변형으로 도금층의 변형이 따라가지 못하여 발생하는 파손형태이다. 반면 플레이킹은 금형과 도금층 사이의 습동현상을 기본원리로 하는 손상으로 비늘 편상으로 박리되는 파손형태이다. 순아연도금강판의 도금층의 연성이 풍부하고 벌크의 변형에 대한 추종성이 뛰어난 강판에서는 파우더링(Powdering)이 쉽게 발생하고, 합금화 온도가 높을수록 GA 강판 표면층의  $\delta$  상과  $\Gamma$  상으로 인해 표면 경도가 높은 도금강판에서는 습동이 강하지만 도금의 연성이 부족하여 파우더링이 쉽게 발생한다. 또한 피막의 파괴, 탈락현상은 GA 강판의 경우  $\Gamma$ ,  $\Gamma_1$  상으로 구성된 합금화 층인  $\Gamma$  상에 의해 기인되며 특히 프레스 성형시 모재와 도금층 사이의 탈락은 도금상 중 제일 경한  $\Gamma$  상에서 시작된다. 이때 피막 손상 저감을 위해서는  $\Gamma$  상의 억제 및 최소화 해야 한다.

### 3.2 편마찰 실험 결과

GA 강판의 합금화 온도별 조건을 달리 하여 편마찰 실험을 수행 결과 Fig. 4와 같이 가압력이 높을수록 마찰계수가 감소하는 경향을 보였으며, 합금화 온도가 높을수록 마찰계수가 감소하는 경향을 보였다. 이는 앞선 연구에서도 이미 논의된 바 있다.<sup>4</sup> 이때 세정유를 사용했을 때 보다 방청유를 사용했을 때의 마찰계수가 더 낮아져 마찰특성이 개선된 것을 볼 수 있다. 이것은 가압력이 높을수록 표면에 눌러진 스킨패스(Skin pass)면이 커지지만, GA 강판에서 합금화 온도가 높을수록

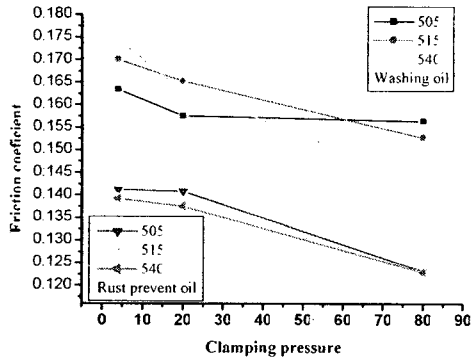


Fig. 4 The comparison of the friction coefficient according to the pressure variation

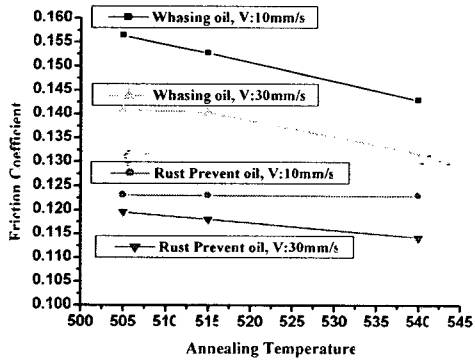


Fig. 5 The comparison of the friction coefficient according to the velocity variation

실제 접촉 된 스킨패스(Skin pass)면이 작기 때문에 마찰계수가 감소되었다. 또한 점도가 낮은 세정유 사용시 기름의 점도가 떨어져서 움직이는 속도 도가 느려지거나 또는 기름의 양이 충분하지 못하여 유막의 두께가 얇아지는 경계유회의 영향과 유회 포켓팅(Pocketing) 현상의 영향으로 가압력이 증가하면 유회상태는 압축되고, 접촉면적의 성장이 스며든 유회유에 의해 제한되기 때문에 평균마찰계수는 감소하기 때문에 세정유보다 방청유 사용시 마찰계수가 떨어지는 것으로 사료된다. 가압력이 일정할 때 속도변화에 대한 마찰실험 결과 속도가 빠를수록 마찰계수가 감소하는 경향을 보였다. 또한 Fig. 5 와 같이 합금화 온도가 높을수록 마찰계수가 감소하였으며 속도가 빠를수록 마찰계수의 변화가 작게 나타났다. 같은 조건에서 방청유를 사용했을 때 세정유를 사용했을 때보다 마찰계

수가 작게 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 GA 강판의 합금화 온도별 도금상을 분석하고 편마찰 실험을 수행하여 합금화 온도별 마찰특성을 비교하였다. 이때 가압력, 속도, 유회유의 변화가 마찰계수에 미치는 영향을 평가하기 위해 실험의 조건을 변경하여 수행하였다. 이 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 편마찰 실험조건에서 일정한 마찰속도와 자동차 차체의 성형공정에서 실제 성형 압력과 비슷한 가압력을 줄 때 합금화 온도가 높을수록 마찰계수가 감소하였다.

(2) 편마찰 실험조건에서 일정한 가압력과 속도변화에 대한 편마찰 실험 결과 합금화 온도가 높을수록 마찰계수가 감소하였으며 속도가 빠를수록 마찰계수가 감소했다. 또한 같은 조건에서 방청유를 사용했을 때 세정유를 사용했을 때보다 마찰계수가 작게 나타났다.

(3) 편마찰 실험을 수행하기 전 표면조도를 측정된 결과 합금화 온도가 높을수록 GA 강판의 표면조도가 낮게 나타났다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. Font: Times New Roman 9pt. Tlustý, J., Smith, S. and Zamudra, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," *Annals of the CIRP*, Vol. 39, pp. 517 - 521, 1990.
2. D. H. Buckley, *Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication*, Elsevier, pp. 315-427, 1981.
3. 김영석 외, *산업과학기술연구소 연구결과 보고서*, Code 9037A, 1989.
4. Akira Azushima, Junji Miyamoto, Hideaki Kudo, *Effect of surface topography of workpiece on pressure dependence of coefficient of friction in sheet metal forming*, *Annals of the CIRP*, Vol. 47/1, 1998.