

용융아연도금강판의 단면부 부식특성

남궁 성*, 허 보영**

*현대하이스코 냉연공장, **경상대학교 공과대학 재료공학부

The corrosion behavior of galvanized steel sheets at the cut edges.

S. Namkoong, B. Y. Her

Technical Research Center, Cold Rolling Mill Plant, Hyundai HYSCO Co., LTD

Abstract

As GA (Hot dip galvanized steel sheet) has good corrosion resistance, weldability and paintability as well as excellent formability, it's demand is rapidly increasing for automotive panels. The GA coated layers are composed of several kinds of brittle Fe-Zn Metallic compounds which are susceptible to powdering during the press forming, however, very careful controls of manufacturing conditions such as galvannealing heat-treatment or bath composition are essential to meet with the required quality of automotive use.

In this study the required characteristics of automotive panel are practically surveyed in detail and the appropriate manufacturing conditions of galvannealing or bath composition have experimentally investigated by using the various analyzing and simulating equipments. The result in this study indicated that the corrosion resistance at the cut edges was improved by increasing of coating weight and decreasing of thickness of sheet steels.

1. 서 론

최근 소재의 사용 환경이 점차 가혹화 되고, 자동차 및 가전용 강판에서 방청보증시한의 증가에 따라 방청성이 크게 대두되어 일반냉연 강판의 사용비중은 감소하는 반면, 표면처리 강판의 사용량이 증가하고 있다.¹⁻⁵⁾ 표면처리강판중 아연도금강판은 pH 6~12의 중성환경에서 우수한 내식성을 갖는 아연을 표면에 도포 함으로써 우수한 내식성을 확보한다. 일반적으로 500g/m²의 아연이 도포된 도금강판의 경우 전원, 내륙지역에서의 연간 부식감량은 10g/m²

이고 사용수명은 약 50년, 해수작용이 직접미치는 지역에서는 연간부식감량이 70g/m²이고 사용수명은 약 7년이라고 보고되고 있다.⁶⁾ 이러한 표면처리 강판을 그대로 제품에 적용할 경우 내식성에는 문제가 없으나, side trimming 하여 제품을 보관 및 공급하거나, 절단하여 제품에 적용할 때 절단면이나 파 단면에서 steel의 노출에 따른 발청방지가 중요한 문제로 대두된다. 이는 절단면이 있는 경우 아연의 희생방식기능만으로 근본적인 방식이 보장되지 않기 때문이다. 또한 단면부의 내식성은 절단시 나이프(knife)에 의해서 도금층의 아연이 단면부에 피

복되는 양 즉, 단면도금 피복율에 의해서 큰 차이를 보인다. 단면도금 피복율은 절단방법에 따라 차이가 있는데 절단시 상부나이프와 하부나이프 사이의 간격인 clearance를 작게 조정할 경우, 절단부에서 전단면이 증가하고 파단면이 감소하여 단면도금피복율이 높아짐으로 내식성이 보다 양호하게 되고, 이와 반대로 clearance를 크게 할 경우 전단면이 감소하고 파단면이 증가하여 내식성이 저하된다. 단면도금 피복율은 판두께, 도금층 두께에 지배되는데 박판, 후 도금일수록 높아진다. 따라서 본 연구에서는 용융아연도금강판에서 각종변수(부착량, 두께, clearance, 강종 등)에 대한 단면부의 부식특성평가와 내식성향상 및 정확한 치수를 위한 절단조건을 제시하고 사용환경에 따른 발청보증시한을 예측하고자 한다.

2. 실험방법

2. 1. 시편 및 아연욕의 준비

각종변수에 따른 단면내식성을 평가하기 위하여 용융아연도금강판(GI) 및 합금화용융아연도금강판(GA)을 사용하여 실험을 행하였다. 도금부착량, 소재두께, 강종 등의 변수에 따라 clearance를 변화시키면서(소재두께의 8~12%) 절단하여 시편을 제작 하였다. 제작된 시편은 대기폭로 실내(1개월) 및 실외(10일), 염수분무(1시간, 10% NaCl), 항온항습(24시간, 온도:50℃, 습도:90%)의 부식시험을 실시 하였으며, 분석은 SEM, EPMA, EDX 등의 장비를 사용하여 분석하였다. 실험에 사용된 GI 및 GA 시편의 조건은 다음 표 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 단면부의 형상

Fig. 1은 단면부의 형상을 나타내고 있다. 단면부는 나이프에 의해 구부러진 무딘면(shear droop, a), 나이프에 의해 절단된 전단면(sheared surface, b), 나이프에 의해 절단된 파단면(fractured surface, c), 그리고 burr(d)로 구성되어있다.

Table 1. The conditions of the specimens.

계 품	강 종	두께 (mm)	도금 부착량 (g/m ²)	
GI	Commercial quality (CQ)	0.6	280	
		1.0		
		2.0		
		1.2	194	
			240	
GA	Commercial quality (CQ)	0.6	40/40	
			45/45	
			50/50	
	IF Steel	0.8	50/50	
				1.2
				2.0
	High strength steel (35kgf/mm ²)	0.8	50.50	
				1.2
2.0				

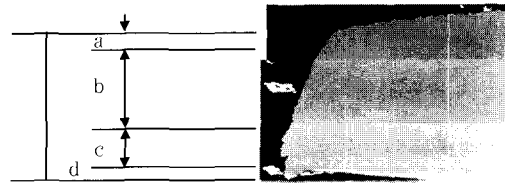


Fig. 1. Schematic illustration of the edge of hotdip galvanized steel sheet. a) shear droop, b) sheared surface, c) fractured surface, d) burr.

b), 파괴에 의해서 찢어진 파단면(fractured surface, c), 그리고 burr (d)로 구성되어있다.

Fig. 2는 절단기의 모식도를 나타내고 있다. Clearance란 상부나이프와 하부나이프 사이의 간극

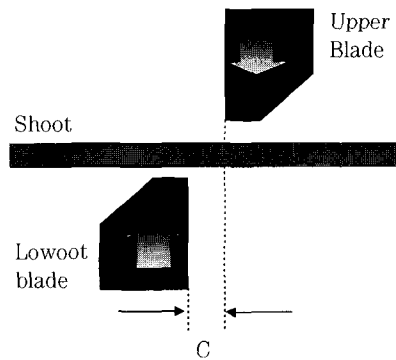


Fig. 2. Schematic figure of the shearing machine.

c를 말한다. 이 clearance에 따라 단면부의 전단면의 양이 크게 변하게 된다. 이것을 Fig. 3에 나타내었다. 즉 clearance의 간격이 좁아질 수록 단면부에서 전단면의 비율이 증가하고 파단면의 비율이 감소하고 있음을 알 수 있다. 그러나 clearance가 너무 작을 경우 단면부의 burr가 많이 발생하게 된다. 일반적인 중저탄소강의 경우 burr는 적정 절단조건 일 때 소재두께의 약 2% 정도이다.

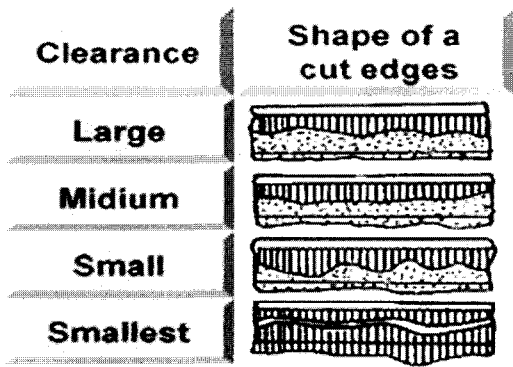


Fig. 3. Schematic figure of the effect of clearance on the cut edges.

3. 2. 단면도금 피복율

3. 2. 1. 소재두께 및 clearance에 따른 단면도금 피복율변화

Fig. 4는 저탄소강 소재의 280g/m²이 도금된 용융아연도금 강판에서 두께에 따른 단면도금피복율의 변화를 SEM에 장착된 EDX로 선분석한 결과이다. 분석결과 단면부의 전단면을 따라 Fe의 함량이 점차 증가하고 Zn의 함량은 감소하고 있다. 파단면에서는 아연이 거의 존재하지 않고 Fe만 존재하고 있다. 이는 도금층의 아연이 나이프에 의하여 단면부의 전단면에 피복되고 있음을 말한다. 또한 (a)와 (b), (c)와 (d)의 비교에서 볼 수 있듯이 단면도금 피복율은 소재두께가 두꺼워질수록 감소하고 있다. 이와 같은 이유는 소재두께가 두꺼워질수록 절단부의 면적 및 절단부에서 파단면의 면적비율이 증가하고, 반대로 전단면의 면적비율이 감소하기 때문이다. (a)와 (c), (b)와 (d)를 비교하면 소재두께가 동일할 때는 일반적인 mild steel에서는 clearance가 큰 경우(10~12%) 보다 작은 경우(8~9%)가 단면도금피복율 및 전단면의 비율이 증가한 것으로

소재두께 Clearance	0.6 mm	2.0 mm
8~9%		
10~12%		

Fig. 4. SEM image & EDX line analysis at the cut edges of hot dip galvanized steel sheets (G, CQ, 280g/m²).

나타났다. 이는 현재 mild steel에서 적용하고 있는 10~12%의 clearance 보다 8~9%의 clearance가 단면내식성에 보다 유리할 것으로 판단된다. 關根⁷⁾에 의하면 표면처리 강판의 절단방법에 따라 단면도금피복율이 Table 2와 같이 변 할 수 있다고 보고한 바 있다. 따라서 단면부의 내식성을 개선하기 위해서는 적절한 절단조건에 의해서 전단면을 증가시켜 단면도금 피복율을 증가시켜야 한다.

Table 2. Variation of the coating ratio at the cut edges due to the shearing conditions.

제품종류	Clearance	도금피복율
EG:t=0.8mm C/W=20/20g/m ²	大	65~75%
	小	94~99%
GI:t=0.8mm C/W=60/60g/m ²	大	65~75%
	小	94~97%
GA:t=0.8mm C/W=60/60g/m ²	大	48~56%
	小	93~99%

3. 2. 2. 부착량에 따른 단면도금피복율의 변화

Fig. 5는 저탄소강 소재 (0.6mm)의 합금화용융아연도금 강판에서 부착량에 따른 단면도금피복율의 변화를 분석한 결과이다. 앞선 결과와 유사하게 전단면에서만 아연이 검출되었으며, 부착량이 증가함에 따라 전단면에서 도금피복량이 증가하고 있다. 이는 단면부의 전단면비율이 동일한 경우(소재두께가 동일한 경우)는 도금부착량이 많은 조건에서 나이프에 의한 단면을 피복할 수 있는 아연이 많기 때문이다. 따라서 단면도금피복율은 소재의 두께 및


부착량 Clearance	40/40g/m ²	50/50g/m ²
	8~9%	

Fig. 5. SEM image and EDX line analysis at the cut edges of galvanized sheet steels (GA, CQ, t=0.6mm).

도금층의 두께에 지배를 받는다. 즉, 박판, 후도금 소재일수록 단면도금피복율이 증가한다.

3. 2. 3. 고장력강에서 clearance에 따른 단면도금 피복율의 변화

Fig. 6은 고장력 (35kgf/mm²) 합금화 용융아연도금강판에서 clearance 변화에 따른 단면도금피복율의 변화를 관찰한 결과이다. 고장력강 소재의 경우 앞선 mild steel의 결과와 달리 clearance 변화를 시켜도 단면도금 피복율은 거의 변화가 없고, 오히려 clearance가 큰 경우에서 미세하지만 높게 나타났다. 이는 고장력강의 경우 소재가 경하므로 도금층의 아연이 나이프에 의하여 전단면으로 피복 될 수 있는 충분한 공간 (clearance)가 있어야 된다. 이런 현상은 인장강도가 높은 고장력강일수록 명확해진다.

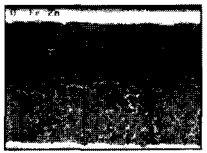
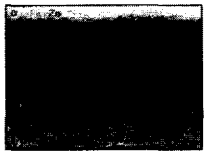
Clearance 부착량	40/40g/m ²	50/50g/m ²
50/50g/m ²		

Fig. 6. SEM image and EDX line analysis at the cut edges of galvanized sheet steels (GA, HS35E, t=1.2mm).

3. 3 부식시험

Fig. 7은 280g/m²이 도금된 저탄소강 소재의 용융아연도금 강판을 염수분무시험기 (SST)에서 1시간동안 부식시험한 결과이다. 분석결과 소재두께가 0.6mm ((a) 조건)인 시편에서는 백청만 발생하였으나, 2.0mm ((b) 조건) 두께의 시편에서는 백청 및 적청이 심하게 발생하였다. 백청은 단면부의 전단면에서 주로 발생하고 있으나, 적청은 이와 반대로 파단면에서 주로 발생하고 있다. 이는 전단면에는 도금층의 아연이 피복되고 파단면에는 소지철이 그대로 노출된 Fig. 4의 EDX 분석결과와 잘 일치하고 있다. 즉, 전단면에서는 아연의 희생방식 작용에

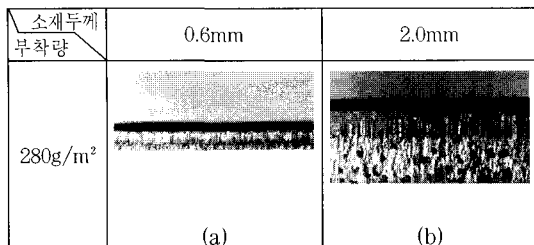


Fig. 7. The corrosion behavior due to the variation of thickness of galvanized steel sheets at the cut edges (G, CQ).

의하여 백청이 발생하고, 파단면에서는 소지철의 노출에 의하여 적청이 발생하였다. 따라서 소재의 두께가 두꺼울수록 단면부 내식성이 저하됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 극저탄소강 소재의 합금화 용융아연도금 강판에서 clearance에 따른 부식시험의 결과이다. 극저탄소강 소재에서는 clearance 변화에 따라 단면부의 전단면 차이가 심하게 나고 있다. Clearance가 적은 경우 (8~9%) 전단면의 비율이 단면부의 95% 이상형성되고 있다. 항온항습시험기에서 24시간 부식시험결과 전단면이 지배적인 clearance가 작은 조건에서 내식성이 우수하게 나타났다. 이와 유사하게 실내 대기폭로 (1개월) 시험결과 전단면이 많은 (a) 조건에서는 적청이 발생되지 않았으나,

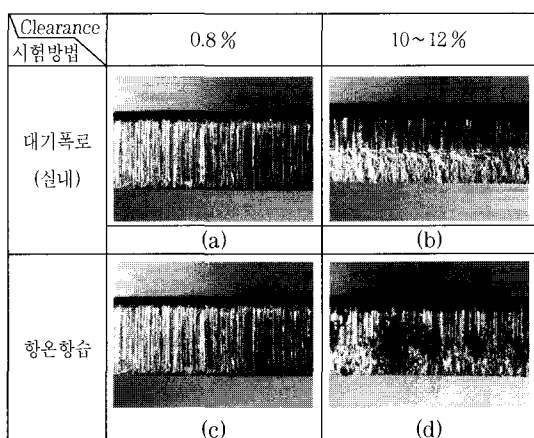


Fig. 8. The corrosion behavior due to the variation of clearance at the cut edges of galvanized steel sheets (GA, IF steel, 50/50g/m², t=2.0).

(b) 조건에서는 미세하게 적청의 발생이 시작되었다. 이는 mild steel에서 clearance가 작은 경우가, 단면도금피복율이 높은 Fig. 4의 결과와 일치하고 있다. 위의 결과로 볼 때 clearance의 변화에 의해서 단면부의 전단면 면적비를 증가시킬 수 있으며, 더 나아가 단면부의 내식성을 향상시킬 수 있다.

Fig. 9는 도금부착량이 다른 저탄소강 소재의 용융아연 도금강판을 항온항습 부식시험 (24 시간) 한 결과이다. 부착량이 많은 (b)의 조건에서 단면내식성이 우수하게 나타났는데, 이는 부착량이 많을수록 단면도금피복율이 높았던 Fig. 5의 결과와 일치하고 있다.

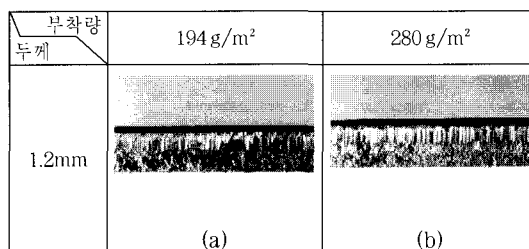


Fig. 9. The corrosion behavior due to the difference of coating weight at the cut edges of galvanized steel sheets (G, CQ)

Fig. 10은 고장력 합금화용융아연도금 강판에서 clearance의 변화에 따른 염수분부식시험 (1시간)에 의한 단면내식성 시험결과이다. Clearance가 작은 조건 (a), 큰 조건 (b) 모두 부식이 유사한 형태로 진행되고 있으나, clearance가 적은 조건인 (a)에서 부식이 조금더 진행 되었다. Fig. 6에서 관찰한 것처럼

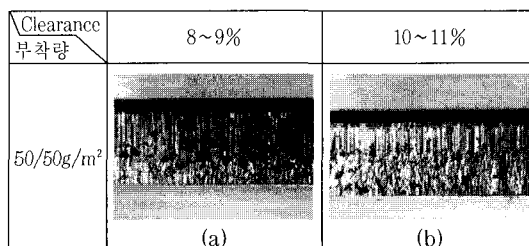


Fig. 10. The corrosion behavior due to the variation of clearance (GA, HSS35E, t=2.0).

림 고장력강에서는 clearance가 큰(10~12%)의 조건에서 단면도금 피복율이 높았기 때문이다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소재의 절단면은 무단면, 전단면, 파단면, burr 등으로 구성되며, 나이프의 clearance가 작아질수록 전단면이 증가한다. 그러나 clearance가 너무 작을 경우 burr가 많이 발생한다. Burr는 소재두께의 약 2% 정도가 적당하다.

2) 단면부의 도금층의 아연은 절단시 나이프에 의하여 절단부의 전단면에 피복되어진다. 따라서 절단면에서 전단면의 증가에 의해 단면도금피복율 및 단면부 내식성이 개선할 수 있다.

3) 단면도금피복율은 소재두께가 감소하고, 도금부착량이 증가할수록 높아진다. 따라서 박판, 후도금소재일수록 단면부 내식성이 우수하다.

4) Clearance에 따라 전단면의 비율을 조절할 수 있는데 mild steel의 경우 소재두께의 8~9%, hard steel의 경우 10~12%가 적정 절단조건이다.

5) 소재에 따른 적정 절단조건으로 절단시 단면부의 내식성은 실내보관시(소재의 보관상태 및 계절에 따라 차이가 있음) 약 1개월 정도 방청보증이 가능하다.

5. 참고문헌

1. 장삼규, Bulletin of the Korean Inst. of Met. & Mat. Vol. 10. No. 5 (1997) p.613.
2. H. J. Lee, Journal of the Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 33, No. 2, p.135.
3. Inagaki Junichi, 塗裝工學 Vol. 34 No. 9 (1999) p. 316.
4. Akihiro Miyasaka, Galvatech, (2001)
5. H. Vergote, Galvatech, (2001)
6. 後藤春雄, 鉛과 亞鉛, 27 (1990) 3, p.23
7. 關根, 방청관리, (1986) 4, p.101