

용융아연 합금도금강판의 Fe석출량 제어기구에 관한 연구

서 정 현

현대강관(주)기술연구소(歷)

A study on the control mechanism of Fe deposition in galvanized steel sheet

J. H. Suh

Tech. Inst. of Hyundai Pipe Co.

Abstract

Galvannealing is becoming the main stream of the coating technology applied to automobile outer and inner panels due to its low cost and easy application in thick Zn coating, compared to electro galvanizing. Despite of filed up data with an experience in this field, galvannealing in thick Zn coating is getting more difficult because of the absence of Fe deposition control mechanism in Zn coating.

This study was focused to establish the control mechanism of Fe deposition in Zn coating. As a result, it exhibits, with different steel sheet and grain size there is a proper temperature range which is good for the target coating thickness of galvannealing. In case of 1,200 mm wide and 0.77 mm thick extra low carbon steel sheet with 20 μ m grain size, its proper temperature range for galvannealing of one side 60 g/m² is 470-480 $^{\circ}$ C.

1. 서 론

용융아연합금도금(galvanized)강판은 최근 냉연강판의 재질향상과 함께 자동차용 내외판재 도금강판의 주류로 자리잡아 가고 있다. 이는 내부식성과 같은 성능상 수요가 요구사항의 향상(5년 보증에서 10년 보증)에 부합할 수 있도록 厚막의 galvanized 용융아연 도금이 전기아연 도금에

비해 상대적으로 제조비용상 저렴할 뿐만 아니라 제조방법상 용이하고 또한 품질면에 있어서 가공성, 용접성, 도장성 등의 향상을 가져오는 도막내 철아연합금조직의 형성제어가 점차 향상되고 있기 때문이다. 그러나 厚도금(60 g/m² 이상)으로 갈수록 상기 언급된 성능에 맞는 도막내 최적의 아연합금조직 형성에 필요한 철(Fe)석출량의 공정상 적절조절 및 제어가 더욱 어려워지고 있다. 국내

의 자동차용 galvanized 熔融아연厚도금 기술은 60g/m² 정도의 합금도금이 가능하나 성능상 특히 가공성에 있어 품질이 떨어져 비교적 가공정도가 심하지 않은 부분에만 적용되고있는 실정이다.

Galvanized 용융아연 도금의 도막내에 형성되는 합금조직들의 종류¹⁾, 형상, 특성과 화학성분²⁾ 및 조성에 대한 분석과 연구결과는 많이 나왔으나 목표로 하는 도막의 두께내 합금조직의 형성을 제어하는 아연도금합금화공정과 관련해서는 경험적인 결과 내지 도금결과에 대한 측정분석³⁾ 또는 제어시스템의 개발⁴⁾ 추진단계에 그치고 있어 성능상 요구되는 적절한 합금조직을 만들기 위해 단계별로 필요한 제어공정의 분류와 공정제어의 목표확립이 필요한 것으로 나타나졌다. 더욱이 필요한 제어공정에 있어서도 조업중 제어목표가 적절범위내에서 이루어지고 있는지에 대한 계측장치가 부재한 경우가 있어 제어목표 수립을 위한 제어기구확립과 함께 현실적인 계측장비의 설치가 이루어져야 자동차용 galvanized 용융아연후도금 기술의 적용결과가 용융아연후도금 강판의 품질향상과 직결될 뿐만 아니라 떨어져 있는 이 분야의 기술경쟁에 있어 선두에 나설 수 있는 기회가 오리라 예상하고있다.

본 연구에 있어서는 자동차용 galvanized 용융아연후도금 강판의 도막내 최적의 합금조직들의 형성시 조직별 체적분율과 이에 따른 철의 최적 석출량을 산출해 공정제어의 기준으로 삼고 산출이 가능한 도금시 진입해 들어온 냉연강판의 치수에 따른 강판의 팽창율별 철 석출량과 대비해 공정을 일치토록 할 수 있는 제어목표로 잡아 도금욕 후공정인 가열보온대의 적정온도범위를 산출함으로써 galvanized 용융아연후도금 공정제어가 가능한 철 석출량 제어기구를 확립하는데 있다.

2. 분석 및 접근방법

2.1 제조공정

자동차용 용융아연도금 강판의 제조공정은 일반적인 용융아연도금 강판의 제조공정에서 도금욕을 거쳐나온 아연도금강판을 에어나이핑에 의해 아연도막의 두께를 조절하는 단계까지는 같으나 이후 강판으로부터 철의 석출을 조절 도막내 아연합금조직이 형성되도록 하는 가열보온대(GA Furnace)가 설치되었는 것이 제조공정상의 주요 차이점이다(그림1. 참조).

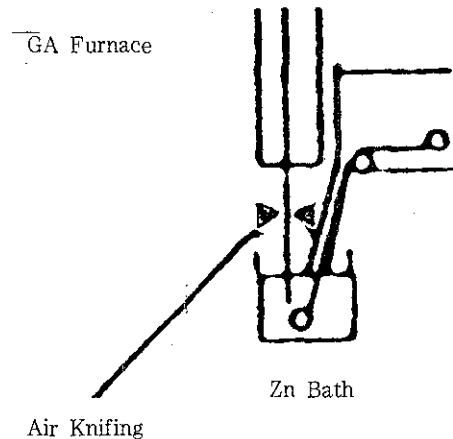


Fig. 1 The difference of manufacturing process

2.2 열팽창률 조건

그리고 통상 조업시 도금욕 침적전 강판을 가열소둔후 450℃ 부근까지 냉각해 도금욕 투입 전까지 도금욕조 온도인 460℃로 유지한 채 욕조에 넣음으로써 도금단계에서의 조업변수를 최소화하고 있다. 따라 분석시 합금화조직과 관련 강판의 열팽창률⁵⁾ 산출에 필요한 온도변화구간의 개시온도를 욕조온도인 460℃로 하고 종료온도는 합금화가 이루어지는 가열보온대의 가열유지온도로 잡았다. 적용온도범위는 가열보온대 설비상 적용가능 최소

최대온도 구간인 430-550°C 중 460-550°C를 가열보온 유지온도 범위로 했다. 도금욕조와 가열보온대 사이의 온도변화 구간인 에어나이핑 공정에서의 온도저하(통상 410-430°C)는 합금화관련 철의 석출에 영향을 주지 않기에 제외됐다.

2.3 소재조건

강판의 소재는 최근 많은 재질향상을 이루어 자동차용 내외판재의 주종을 이루는 극저탄소⁽⁸⁻⁹⁾(IF; Interstitial Free)鋼으로서 소재내 고용된 탄소에 의한 소재 격자내 철(Fe)의 기본적인 이동장애를 거의 초래치 않게 됐다. 허나 결정방향별 격자조밀도의 차 또는 입내, 입계등에서 전위분포의 크기와 연속성의 차에 의해 특정한 결정방향 또는 주로 입계로⁹⁾ Fe의 과다석출을 막기 위한 소재내 인(P)¹⁰⁾의 첨가 유무 그리고 가공성 등의 성능향상을 위해 취성의 합금조직으로 도막경계에 위치하는 감마(γ)조직의 과대성장을 막도록 적절히 조절하여 아연도금욕조에 첨가되는 알루미늄¹¹⁻¹²⁾의 대소차 등과 같은 합금화조직 형성관련 Fe 석출에 불특정적 영향을 끼치는 요소는 현장 경험적 제어 및 조절기구로 기본적인 제어기구 확립 요소에서 제외됐다. 그대신 극저탄소강의 화학성분 및 제조이력에 따라 형성된 결정립크기를 팽창률 산출요소로 선택했다. 산출시 적용된 극저탄소강의 결정립크기(직경)는 5-40 마이크로론 이었다.

2.4 Fe 석출량 및 도막두께 산출조건

분석산출시 가열보온대에서의 강판의 이송속도는 조업시 강판치수 및 재질별로 분류된 작업표준에 준한 속도를 적용한 반면 이같은 작업속도에 따른 가열온도 유지는 통상의 정해진 가열보온대의 길이 기준에 대신해서 가열보온시간 10초간을 기준한 각 강판의 이송속도별 가열보온유지길이를 산출해 적용함으로써 강판의 이송속도차 즉 가열보온대(길이가 확정되지 않은 보온대)의 온도유지

길이 차에 따른 Fe의 석출과 이에 따른 합금조직(그림 2 참조)의 도막두께에 대한 영향을 파악코자했다. 도막내 합금조직의 형성에 따른 조직별 도막내 부피분율과 이에 따른 Fe의 석출확산량 산출은 각조직(相)별 철과 아연의 조성 즉 강판으로부터 도막내로 확산된 Fe 함량별 감마(γ)相, 28-35%, 감마1(γ_1)相, 17-23%, 델타(δ)相, 7-12%, 및 연성의 제타(ξ)와 에타(η)相, 0-5%에 대한 각각의 Fe 석출량 대비 도막내 부피분율을 합산 그림 2와 같이 적절 합금조직 형성시의 도막내 평균 Fe 석출량, 10%를 기준으로 에어나이핑에서 제어된 여러 용융아연도막 두께별 평균 10% Fe 함량의 도막내 합금조직을 가지게 하는 가열보온대에서 적용될 유지온도 범위를 산출했다. 목표하는 합금화 도막두께별 이러한 적정적용 유지온도 범위(proper galvannealing temp. range) 도출은 도금강판이 에어나이핑에서 도막두께가 제어되어 보온가열대로 들어와 적정가열보온 유지온도에서 합금화가 되기 시작해 즉 강판으로부터 부 착되어있는 용융아연도막 두께 내로 Fe의 석출확산이 일어날 시 강판의 열팽창율에 기준해 발생하는 Fe의 석출량을 처음 순(100%)Fe로만 막을 구성할 경우를 가정한 도막 두께로부터 회석되어 아연도막내의 Fe 평균함량이 20%에 이르는 도막두께

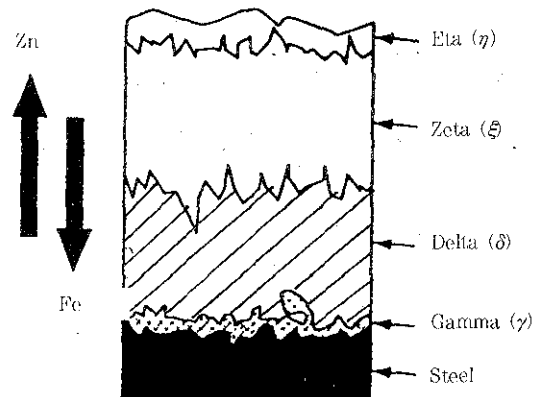


Fig. 2 Ideal phases of galvannealed structure

및 적절한 합금조직이 형성될 시 즉 아연도막내로 석출확산된 Fe의 평균함량이 10%에 이르는 도막 두께까지의 순서로 Fe 석출량을 기준한 아연도막 부피로 환산, 구분해 실시했다.

2.5 강판치수 및 제조설비조건

분석대상 강판의 치수는 광폭후육에서 협폭박육의 순으로 폭 1,385mm, 두께 1.3mm와 폭 1,200mm, 두께 0.77mm 그리고 폭 810mm, 두께 0.3mm 였다. 그리고 주요공정별 일반적인 설비조건(그림 3 참조)으로 도금욕조前 예열대 (PHS) 온도는 최대 400℃, 발열대 (RTH) 온도는 아닐링온도 800 - 850℃이고 가스냉각대 (GJS) 온도는 최대 450℃, 저온 가열대 (LTHS) 온도는 460℃이다. 도금욕조의 온도는 460℃에서 최대 180M/분의 강판이송속도로 도금이 가능하며 아연도금의 도막 두께는 최대 720g/M² (100 마이크로 두께)까지 도금이 가능하다. 도금욕조後 GA Furnace에서 기준치수 두께 0.77mm, 폭 1,200mm에 강판이송속도 150M/분 경우 가열온도유지(보온)시간은 10초로 가열대온도 범위는 430 - 550℃ 이고 최대 강판이송 속도는 180M/분이다. 가열보온대 이후의 분무냉각대 (MCS)에서는 도금강판을 350℃ 까지 냉각한다.

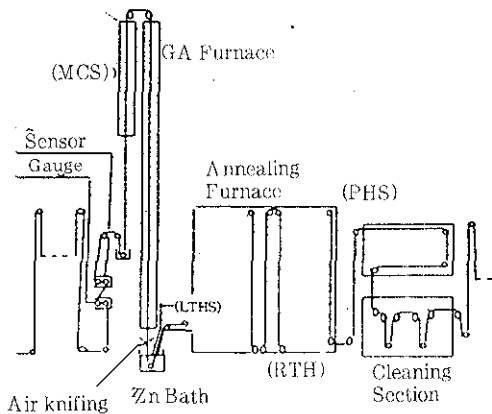


Fig. 3 Facilities in main process

3. 분석결과 및 고찰

3.1 석출량 제어기구

도금욕조에서 아연을 묻혀 나와 에어나이핑에 의해 아연도막 두께조절을 거친 후 아연합금화시 발생하는 Fe의 석출량은 GA열처리 (Galvannealing) 시 가열대온도 유지길이 범위내의 도금강판에서 일어나기에 이 범위내 강판의 체적팽창에 따른 Fe의 석출량을 파악해야한다. 통상의 극저탄소강은 제강 및 열간, 냉간압연을 거친 후 평균 결정립경이 20 마이크로 정도이다. 이 결정립 크기를 기준으로한 550℃ GA열처리시 용융도금된 극저탄소강판의 팽창률은 $4 \times \text{Fe원자직경/결정립직경} \times \text{온도변화구간의 온도차(종료온도 - 개시온도)}$ 로 $4 \times 2.5 \text{ \AA} / (200,000 \text{ \AA} \times \text{℃}) \times (550 \text{℃} - 460 \text{℃}) = 9 / 2,000$ 으로 팽창길이는 팽창률 \times 팽창진 즉 온도변화전 원래 길이기때 방향별 팽창길이를 곱함으로 체적 팽창부피의 산출이 가능하다. 허나 팽창된 부피에서 원래부피를 감한 순수 열팽창에 의해 늘어난 강판의 부피가 그대로 철의 석출량으로 산정할 수 있는가 하는 점은 GA열처리시 강판의 소지철을 구성하는 Fe와 함께 결정립내 및 경계에 위치한 전위와 공공이 소멸하지 않고 팽창률만큼 강판내에서 Fe원자와 같이 계면상으로 이동석출하는 유동성을 가진 개체가 더욱 경계면상에서 Fe 확산이 용이한 용융아연으로 들어가 퍼짐으로써 도금강판의 냉각시 아연합금조직(相)의 형성을 이루어낸다는 관점에서 순수 강판팽창부피 만큼의 Fe 석출량이 아연도금 도막내의 합금조직들형성시 함유된 Fe량과 같다 할 수 있다. 상기 열팽창율에 의해 산출 가능한 Fe 석출량, 즉 순수 강판팽창부피의 도막두께로의 환산은 분석의 용이성을 감안 석출된 100% Fe량인 순수강판팽창부피/강판표면적에 의해 산출한 후 아연도막내에서 Fe의 회석율에 따라 100% Fe 도막 두께/회석율로 20% 및 10% Fe 회석율의 아연합금도막 두께의 산출이 가능했다.

3.2 분석 산출에 IF강 GA 도금강판 폭 1,385mm
두께 1.3mm

- 1) 강판 치수 1,385×1.3t, IF
- 2) IF 강입도 (~20 μ)
- 3) 온도유지

• GA Furnace 內 강판온도 범위 410℃ ~ 550℃

• 11.6M:가열대 온도 유지 (holding) 길이

- 4) 목표양면 도금량

60~180g/m²

(4.2~12.5 μ 목표 표면 도막 두께 범위에 상당)

- 5) GA 열처리 (Galvannealing) 속도 70MPM

(가열대 온도유지 길이 11.6M)

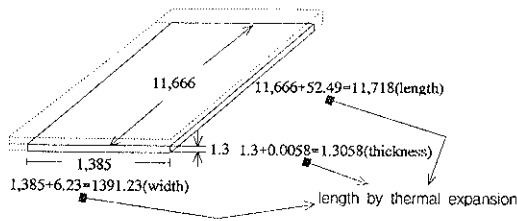


Fig. 4 Fe deposit at 550℃ (units : mm)

6) 550℃ 100%Fe 도막두께 산출관련 (단위 : mm) Fig. 4 및 결과관련 Table 1 참조

$$\begin{aligned}
 & (1,391.23 \times 0.0058 + 6.23 \times 1.3) \times 11,666 + 1.3058 \\
 & \times 1391.23 \times 52.49 \\
 & = (8.069134 + 8.099) \times 11,666 + 95,356 \\
 & = 188,617 + 95,356 = 283,973 \Rightarrow \\
 & 283,973 \div (11,666 \times 1,385) \\
 & \text{순수인량상 부피} \quad \text{인량상 전 원의 강판면적} \\
 & = 17.5 \times 10^{-3} \text{mm} = 17.5\mu
 \end{aligned}$$

Table. 1 Grain size of IF steel sheet vs. thickness of 100% Fe deposit

Grain size of IF steel (μ)	550℃ 100% Fe thickness (μ)
5	70
10	35
15	23.3
20	17.5
25	14
30	11.6
35	10
40	8.7

7) 강판치수 : 폭 1,385mm 두께 1.3mm, 합금 도막두께 (양면도막 두께합) 대비 GA Furnace 유지온도 결과관련 Table 2 참조

Table. 2 Galvannealed coat thickness vs. proper galvannealing temp.

grain size (μ)	galvannealing temp. (℃)	100% Fe coat thick (μ)	(1) 20% Fe coat thick (μ)	(2) 10% Fe coat thick (μ)	proper galvannealing temp. range for target coating thick.
5	550	70	350	700	(1) 463~466℃ (2) 462~463℃
	540	62.2	311	622	
	530	54.4	272	544	
	520	46.6	233	466	
	510	38.8	194	388	
	500	31.1	155.5	311	
	490	23.3	116.5	233	
	480	15.5	77.5	155	
	470	7.7	38.5	77	
	465	3.8	19	38	
10	550	35	175	350	(1) 465~473℃ (2) 463~466℃
	540	31.1	155.5	311	
	530	27.2	136	272	
	520	23.3	116.5	233	
	510	19.4	97	194	
	500	15.55	77.75	155.5	
	490	11.65	58.25	116.5	
	480	7.7	38.5	77	
	470	3.8	19	38	
	465	1.9	9.5	19	

grain size (μ)	galvannealing temp. ($^{\circ}\text{C}$)	100% Fe coat thick (μ)	(1) 20% Fe coat thick (μ)	(2) 10% Fe coat thick (μ)	proper galvannealing temp. range for target coating thick.
15	550	23.3	116.5	233	(1) 467~480 $^{\circ}\text{C}$ (2) 464~470 $^{\circ}\text{C}$
	540	20.7	103.5	207	
	530	18.1	90.5	181	
	520	15.5	77.5	155	
	510	12.9	64.5	129	
	500	10.3	51.5	103	
	490	7.7	38.5	77	
	480	5.1	25.5	51	
	470	2.58	12.9	25.8	
20	465	1.29	6.45	12.9	(1) 469~485 $^{\circ}\text{C}$ (2) 465~473 $^{\circ}\text{C}$
	550	17.5	87.5	175	
	540	15.5	77.5	155	
	530	13.6	68	136	
	520	11.6	58	116	
	510	9.72	48.6	97.2	
	500	7.7	38.5	77	
	490	5.83	29.15	58.3	
	480	3.88	19.4	38.8	
25	470	1.94	9.7	19.4	(1) 471~492 $^{\circ}\text{C}$ (2) 466~476 $^{\circ}\text{C}$
	465	0.97	4.85	9.7	
	550	14	70	140	
	540	12.4	62	124	
	530	10.8	54	108	
	520	9.3	46.5	93	
	510	7.7	38.5	77	
	500	6.2	31	62	
	490	4.6	23	46	
30	480	3.1	15.5	31	(1) 474~498 $^{\circ}\text{C}$ (2) 467~479 $^{\circ}\text{C}$
	470	1.55	7.75	15.5	
	465	0.77	3.85	7.7	
	550	11.6	58	116	
	540	10.3	51.5	103	
	530	9.02	45.1	90.2	
	520	7.73	38.65	77.3	
	510	6.44	32.2	64.4	
	500	5.15	25.75	51.5	
35	490	3.86	19.3	38.6	(1) 476~506 $^{\circ}\text{C}$ (2) 468~482 $^{\circ}\text{C}$
	480	2.57	12.85	25.7	
	470	1.28	6.4	12.8	
	465	0.64	3.2	6.4	
	550	10	50	100	
	540	8.88	44.4	88.8	
	530	7.77	38.85	77.7	
	520	6.66	33.3	66.6	
	510	5.55	27.75	55.5	
40	500	4.44	22.5	44.4	(1) 478~512 $^{\circ}\text{C}$ (2) 469~486 $^{\circ}\text{C}$
	490	3.33	16.65	33.3	
	480	2.22	11.1	22.2	
	470	1.11	5.55	11.1	
	465	0.55	2.75	5.5	
	550	8.7	43.5	87	
	540	7.7	38.5	77	
	530	6.7	33.5	67	
	520	5.8	29	58	
40	510	4.8	24	48	(1) 478~512 $^{\circ}\text{C}$ (2) 469~486 $^{\circ}\text{C}$
	500	3.8	19	38	
	490	2.9	14.5	29	
	480	1.9	9.5	19	
	470	0.96	4.8	9.6	
	465	0.48	2.46	4.8	

3.3 분석 산출예 IF강 GA 도금강판 폭 1,200mm
두께 0.77mm

- 1) 강판 치수 1,200×0.77t, IF
 - GA 열처리 (Galvannealing) 속도 150MPM (가열대 온도유지 길이 25m)
- 2) IF 강입도 (~20 μ)
- 3) 온도유지
 - GA Furnace 内 강판온도 범위 410 $^{\circ}$ C ~ 550 $^{\circ}$ C
 - 25M (가열대 온도유지 : holding 길이)
- 4) 목표양면 도금량
60~180g/m² (4.2~12.5 μ 복표 편면도막 두께 범위에 상당)
- 5) GA 열처리 (Galvannealing) 속도 150MPM (가열대 온도유지 길이 25M)

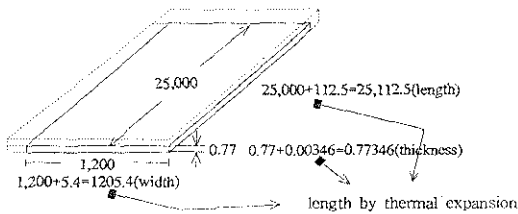


Fig. 5 Fe deposit at 550 $^{\circ}$ C (units : mm)

6) 550 $^{\circ}$ C 100%Fe 도막두께 산출관련 (단위:mm)

Fig. 5 및 결과관련 Table 3 참조

$$(1205.4 \times 0.00346 + 5.4 \times 0.77) \times 25,000 + 1205.4 \times 0.77346 \times 112.5$$

$$(4.17 + 4.158) \times 25,000 + 104,886.9$$

$$= 208,200 + 104,886.9 = 313,086.9 \div (25,000 \times 1,200)$$

수수연평균 부피 연평균전 원래 강판면적

$$= 10.43 \times 10^{-3} \text{mm} = 10.43\mu$$

Table. 3 Grain size of IF steel sheet vs. thickness of 100% Fe deposit

Grain size of IF steel (μ)	550 $^{\circ}$ C 100% Fe thickness (μ)
5	41.72
10	20.86
15	13.9
20	10.43
25	8.34
30	6.95
35	5.96
40	5.21

7) 강판치수 : 폭 1,200mm 두께 0.77mm, 경유 합금 도막두께 (양면도막 두께합) 대비 GA Furnace의 유지온도 결과관련 Table 4 참조

Table. 4 Galvannealed coat thickness vs. proper galvannealing temp.

grain size (μ)	galvannealing temp. ($^{\circ}$ C)	100% Fe coat thick (μ)	(1) 20% Fe coat thick (μ)	(2) 15% Fe coat thick (μ)	(2) 10% Fe coat thick (μ)	proper galvannealing temp. range for target coating thick.
5	550	41.72	208.6	278.13	417.2	(1) 464~470 $^{\circ}$ C (2) 463~468 $^{\circ}$ C (3) 462~465 $^{\circ}$ C
	540	37.08	185.4	247.2	370.8	
	530	32.4	162	21.6	324	
	520	27.8	139	185.3	278	
	510	23.1	115.5	154	231	
	500	18.5	92.5	123.3	185	
	490	13.9	69.5	92.6	139	
	480	9.27	46.35	61.8	92.7	
	470	4.63	23.15	30.8	46.3	
	465	2.31	11.55	15.4	23.1	
10	550	20.86	104.3	139	208.6	(1) 468~481 $^{\circ}$ C (2) 466~476 $^{\circ}$ C (1) 464~470 $^{\circ}$ C
	540	18.5	92.5	123.3	185	
	530	16.2	91	108	162	
	520	13.9	69.5	92.6	139	
	510	11.5	57.5	76.6	115	
	500	9.27	46.35	61.8	92.7	
	490	6.95	34.75	46.3	69.5	
	480	4.63	23.15	30.8	46.3	
	470	2.31	11.55	15.4	23.1	
	465	1.158	5.79	7.72	11.58	

grain size (μ)	galvannealing temp. ($^{\circ}$ C)	100% Fe coat thick (μ)	(1) 20% Fe coat thick (μ)	(2) 15% Fe coat thick (μ)	(3) 10% Fe coat thick (μ)	proper galvannealing temp. range for target coating thick.
15	550	13.9	69.5	92.6	139	(1) 471 ~ 492 $^{\circ}$ C (2) 469 ~ 484 $^{\circ}$ C (3) 466 ~ 476 $^{\circ}$ C
	540	12.3	61.5	82	123	
	530	10.8	54	72	108	
	520	9.26	46.3	61.7	92.6	
	510	7.72	38.6	51.4	77.2	
	500	6.17	30.85	41.1	61.7	
	490	4.63	23.15	30.8	46.3	
	480	3.08	15.4	20.5	30.8	
	470	1.54	7.7	10.2	15.4	
465	0.772	3.86	5.1	7.72		
20	550	10.43	52.15	69.5	104.3	(1) 475 ~ 503 $^{\circ}$ C (2) 471 ~ 492 $^{\circ}$ C (3) 468 ~ 481 $^{\circ}$ C
	540	9.27	46.35	61.8	92.7	
	530	8.11	40.55	54	81.1	
	520	6.95	34.75	46.3	69.5	
	510	5.79	28.95	38.6	57.9	
	500	4.63	23.15	30.8	46.3	
	490	3.47	17.35	23.1	34.7	
	480	2.31	11.55	15.4	23.1	
	470	1.158	5.79	7.72	11.58	
465	0.579	2.985	3.86	5.79		
25	550	8.34	41.7	55.6	83.4	(1) 479 ~ 514 $^{\circ}$ C (2) 474 ~ 500 $^{\circ}$ C (3) 470 ~ 487 $^{\circ}$ C
	540	7.14	37.05	49.4	74.1	
	530	6.48	32.4	43.2	64.8	
	520	5.56	27.8	37	55.6	
	510	4.63	23.15	30.8	46.3	
	500	3.7	18.5	24.6	37	
	490	2.78	13.9	18.5	27.8	
	480	1.85	9.25	12.3	18.5	
	470	0.926	4.63	6.1	9.26	
465	0.463	2.315	3	4.63		
30	550	6.95	34.75	46.3	69.5	(1) 482 ~ 524 $^{\circ}$ C (2) 477 ~ 508 $^{\circ}$ C (3) 471 ~ 492 $^{\circ}$ C
	540	6.17	30.85	41.3	61.7	
	530	5.4	27	36	54	
	520	4.63	23.15	30.8	46.3	
	510	3.86	19.3	25.7	38.6	
	500	3.08	15.4	20.5	30.8	
	490	2.31	11.5	15.4	23.1	
	480	1.54	7.7	10.2	15.4	
	470	0.772	3.86	5.1	7.72	
465	0.386	1.93	2.5	3.86		
35	550	5.96	29.8	39.7	59.6	(1) 486 ~ 535 $^{\circ}$ C (2) 480 ~ 516 $^{\circ}$ C (3) 473 ~ 497 $^{\circ}$ C
	540	5.29	26.45	35.2	52.9	
	530	4.63	23.15	30.8	46.3	
	520	3.97	19.85	26.4	39.7	
	510	3.31	16.55	22	33.1	
	500	2.64	13.2	17.6	26.4	
	490	1.98	9.9	13.2	19.8	
	480	1.32	6.6	8.8	13.2	
	470	0.662	3.31	4.41	6.62	
465	0.331	1.655	2.2	3.32		
40	550	5.21	26.05	34.7	52.1	(1) 490 ~ 546 $^{\circ}$ C (2) 483 ~ 525 $^{\circ}$ C (3) 475 ~ 503 $^{\circ}$ C
	540	4.63	23.15	30.8	46.3	
	530	4.05	20.25	27	40.5	
	520	3.47	17.35	23.1	34.7	
	510	2.89	14.45	19.2	28.9	
	500	2.31	11.55	15.4	23.1	
	490	1.73	8.65	11.5	17.3	
	480	1.15	5.75	7.6	11.5	
	470	0.578	2.89	3.8	5.78	
465	0.289	1.1445	1.92	2.89		

3. 4 분석 산출예 IF강 GA 도금강판 폭 810mm 두께 0.3mm

- 1) 강판치수 810×0.3t, IF
- 2) IF강 입도 (~20 μ)
- 3) 온도유지
 - GA Furnace 内 강판온도 범위 410℃~550℃
 - 25M (가열대 온도 유지 : holding 길이)
- 4) 목표 양면 도금량
60~180g/m² (4.2~12.5 μ 목표 편면도막 두께 범위에 상당)
- 5) GA 열처리 (Galvannealing) 속도 150MPM
가열대 온도유지 길이 25M)

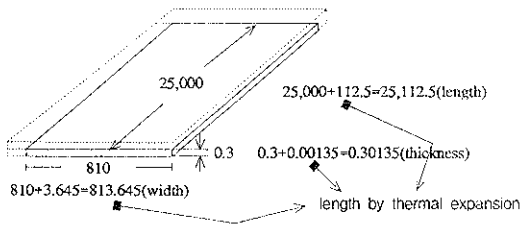


Fig. 6 Fe deposit at 550℃ (units : mm)

6) 550℃ 100%Fe 도막두께 산출관련 (단위 : mm) Fig. 6 및 결과관련 Table 5 참조

$$\begin{aligned}
 & (813.645 \times 0.00135 + 3.645 \times 0.3) \times 25,000 + 0.30135 \\
 & \times 813.645 \times 112.5 \\
 & = (1.09842 + 1.09350) \times 25,000 + 27,584 \\
 & = 82,382 \quad 82,382 \div (25,000 \times 810) \\
 & \quad \text{공수인용량 단위 : 원자용량인도강판 단위} \\
 & = 4.068 \times 10^{-3} \text{mm} = 4.068\mu
 \end{aligned}$$

Table. 5 Grain size of IF steel sheet vs. thickness of 100% Fe deposit

Grain size of IF steel (μ)	550℃ 100% Fe thickness (μ)
5	16.272
10	8.136
15	5.424
20	4.068
25	3.254
30	2.712
35	2.324
40	2.034

7) 강판치수 : 폭 1,200mm 두께 0.77mm, 경우 합금 도막두께 (양면도막 두께합) 대비 GA Furnace의 유지온도 결과관련 Table 6 참조

Table. 6 Galvannealed coat thickness vs. proper galvannealing temp.

grain size (μ)	galvannealing temp. (℃)	100% Fe coat thick (μ)	(1) 20% Fe coat thick (μ)	(2) 10% Fe coat thick (μ)	proper galvannealing temp. range for target coating thick.
5	550	16.272	81.36	162.72	(1) 470~487℃ (2) 465~473℃
	540	14.464	72.32	144.64	
	530	12.656	63.28	126.56	
	520	10.848	54.24	108.48	
	510	9.04	45.2	90.4	
	500	7.232	36.16	72.32	
	490	5.424	27.12	54.24	
	480	3.616	18.08	36.16	
	470	1.808	9.04	18.08	
10	465	0.904	4.52	9.04	(1) 479~515℃ (2) 470~487℃
	550	8.136	40.68	81.36	
	540	7.232	36.16	72.32	
	530	6.328	31.64	63.28	
	520	5.424	27.12	52.24	
	510	4.52	22.6	45.2	
	500	3.616	18.08	36.16	
	490	2.712	13.56	27.12	
	480	1.808	9.04	18.08	
470	0.904	4.52	9.04		
465	0.452	2.26	4.52		

grain size (μ)	galvannealing temp. (°C)	100% Fe coat thick (μ)	(1) 20% Fe coat thick (μ)	(2) 10% Fe coat thick (μ)	proper galvannealing temp. range for target coating thick.
15	550	5.424	27.12	54.24	(1) 488~543°C (2) 474~501°C
	540	4.821	24.105	48.21	
	530	4.218	21.09	42.18	
	42.18	3.616	18.08	36.16	
	510	3.022	15.11	30.22	
	500	2.41	12.05	24.1	
	490	1.808	9.04	18.08	
	480	1.205	6.025	12.05	
	470	0.602	3.01	6.02	
20	465	0.301	1.5	3.01	(1) 498~550°C (570°C) (2) 479~515°C
	550	4.068	20.34	40.68	
	540	3.616	18.08	36.16	
	530	3.164	15.82	31.64	
	520	2.712	13.56	27.12	
	510	2.26	11.3	22.6	
	500	1.808	9.04	18.08	
	490	1.356	6.78	13.56	
	480	0.904	4.52	9.04	
25	470	0.452	2.26	4.52	(1) 507~550°C (600°C) (2) 484~529°C
	465	0.226	1.13	2.26	
	550	3.254	16.27	32.54	
	540	2.892	14.46	28.92	
	530	2.53	12.65	25.3	
	520	2.169	10.845	21.69	
	510	1.807	9.035	18.07	
	500	1.446	7.23	14.46	
	490	1.084	5.42	10.84	
30	480	0.723	3.615	7.23	(1) 516~550°C (620°C) (2) 488~542°C
	470	0.361	1.805	3.61	
	465	0.18	0.9	1.8	
	550	2.712	13.56	27.12	
	540	2.41	12.05	24.1	
	530	2.109	10.54	21.09	
	520	1.808	9.04	18.08	
	510	1.506	7.53	15.06	
	500	1.205	6.025	12.05	
35	490	0.904	4.52	9.04	(1) 526~550°C (650°C) (2) 493~550°C (556°C)
	480	0.602	3.01	6.02	
	470	0.301	1.5	3.01	
	465	0.15	0.75	1.5	
	550	2.324	11.62	23.24	
	540	2.065	10.325	20.65	
	530	1.807	9.035	18.07	
	520	1.549	7.745	15.49	
	510	1.291	6.455	12.91	
40	500	1.032	5.16	10.32	(1) 535~550°C (680°C) (2) 498~550°C (570°C)
	490	0.774	3.84	7.74	
	480	0.516	2.58	5.16	
	470	0.258	1.29	2.58	
	465	0.1291	0.645	1.29	
	550	2.024	10.17	20.34	
	540	1.808	9.04	18.08	
	530	1.582	7.91	15.82	
	520	1.356	6.78	13.56	
40	510	1.13	5.65	11.3	(1) 535~550°C (680°C) (2) 498~550°C (570°C)
	500	0.904	4.52	9.04	
	490	0.678	3.39	6.78	
	480	0.452	2.26	4.52	
	470	0.226	1.13	2.26	
	465	0.113	0.565	1.13	

4. 결 론

Galvannealed 용융아연도금 공정에서 용융아연도금후의 아연합금화시 일어나는 Fe의 석출과 관련 석출량 제어기구를 확립해 서로 다른 여러 조건의 용융아연 극저탄소강판에 대한 적정합금온도 범위를 산출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소재재질이 같은 강판에서도 강판치수에 따라 가열보온대에서 동일한 도막두께의 합금화를 위한 서로 다른 적정 합금화 유지온도가 존재한다. 팽폭후육에서 협폭박육으로 갈수록 적정합금화 온도가 높아지는 경향을 보인다.

2) 강판의 이송속도차에 따라 가열보온유지길이의 차가 발생해 생기는 열팽창 면적의 변화(길이 변화) 즉 Fe 석출량의 변화로 인한 적정합금화 도막두께에 대한 영향은 없다. 다만 최대 강판 이송속도를 기준해 가열보온 유지에 적절한 시간확보가 가능한 정도의 가열보온대 길이가 필요한 것으로 판단된다.

3) 결정립의 적정합금화 도막두께에 대한 영향으로 극저탄소강판의 결정립크기 변화는 임경 20 마이크론을 기준해 결정립이 작아질수록(5 마이크론으로 갈수록) 커지는 것(40 마이크론으로 갈수록)과 비교해 도막두께의 변화 폭이 더크고 가파르게 나타났다.

4) 극저탄소강판 분석결과 강판치수가 협폭박육에다 소재의 결정립크기가 커질수록 Galvannealed 용융아연 후도금시 적정 합금화 유지온도가 높아지게 되 협폭박육강판 후도금시에는 소재와 관련해 적합한 결정립의 강판선택이 필요한 것으로 판단된다.

5) 강판치수가 폭 1,200mm 두께 0.77mm인 극저탄소강판의 Galvannealed(도막내 평균 Fe 합량 10%) 후도금, 편변도금량 60g/m², 경우 적정온도 범위가 470~480℃ 부근으로 판단된다.

참고 문헌

1. Y. Tokunaga, M. Yamada and T. Hada : ISIJ, Vol.72, No.8 June 1986 p997-1004
2. A. Nishimoto, J. Inagaki and K. Nakaoka : ISIJ, Vol.72, No.8 June 1986 p989-996
3. Yoshinori Anabuki, Takayuki Yoshioka and Akio Shinohara : Iron and Steel Engineer, Dec., 1997 p37
4. Wayne W. Manges, Stephen W. Allison, Joseph R. Vehec : Iron and Steel Engineer, Dec., 1997 p33
5. 김경중, 서정현 : 대한용접학회지, Vol.8, No.4, Dec., 1990 p35-45
6. 김교성, 권오준, 장래용 : 대한금속학회지, Vol. 28, No.3, 1990 p235-243
7. S. Hashimoto, T. Kasima and J. Zaoh : ISIJ, Vol.75, No.12, Dec., 1989 p2194-2201
8. S. Hashimoto and T. Yakushiji : ISIJ, Vol. 74, No.8 Aug., 1988 p1617-1624
9. C. E. Jordan, A. R. Marder : Metall. Trans. Vol. 28A, 1997 p2683-2694
10. C. E. Jordan, A. R. Mardar : Metall. Trans. Vol. 28A, 1997 p2695-2703
11. C. E. Jordan, A. R. Mardar : J. Mater. Sci., Vol. 32 1997 p5593-5602
12. C. E. Jordan, A. R. Mardar : J. Mater. Sci., Vol. 32 1997 p5603-5610