

무산세 열연 용융아연도금강판의 도금밀착성에 미치는 도금욕 Al농도의 영향

전선호, 최진원

포항종합제철주식회사 기술연구소 광양압연연구그룹

Effect of Al content on coating adhesion of hot rolled galvanized iron manufactured without pickling process

S. H. Jeon and J. W. Choi

Kwangyang Rolling Products Group, Technical Research Laboratories
 Pohang Iron and Steel Company, 700 Kumho-dong
 Kwangyang-city, 545-090, Korea

Abstract

The effect was investigated that aluminium in the zinc bath has on the coating adhesion of Hot-rolled Galvanized Iron (HGI) manufactured without pickling process.

It is thought that the coating adhesion of HGI manufactured without pickling process is good due to the fact that increasing aluminium content in the zinc bath makes zinc and aluminium diffuse to the cracks or pores in the scale formed through the reduction heat treatment, and Fe-Zn-Al compound with good ductility is formed in the scale layer and plays a role of anchor between zinc coating and substrate.

It is possible that HGI with the good coating adhesion was produced without pickling treatment in the zinc bath with more than 3wt% of Al content even at the 550°C of conventional reduction heating temperature.

In creasing the temperature of heating section and the aluminum content in the zinc bath prevents the Zn-Fe alloy. The corrosion resistance of HGI manufactured without pickling process is excellent because of the mixed reaction of zinc sacrifice and aluminum passivity film.

1. 서 론

지금까지의 용융아연도금강판은 냉간압연강판을

도금소재로 하는 냉연 용융아연도금강판 (Cold-rolled Galvanized Iron, CGI) 을 지칭하였으나, 최근 두께 2mm 이상의 후물재 수요 증가로 인해 열

간압연강판을 도금소재로 하는 열연 용융아연도금강판(Hot-rolled Galvanized Iron, HGI)이 제조되므로 용융아연도금강판은 CGI 및 HGI로 세분화되고 있다.

특히 HGI제는 압연과 동시에 소둔처리된 열연강판을 도금소재로 사용하기 때문에 CGI와 같이 도금 전에 가공성을 확보하기 위하여 고온소둔처리가 필요하지 않으며, 단지 산세후 형성되는 산화피막의 환원 및 도금작업시 도금밀착성 확보를 위하여 최대온도 550°C의 A₁변태점 이하에서의 가열처리(process annealing)만을 실시하게 되므로 제조 공정이 간단하고 경제적으로 용융아연도금강판을 생산할 수 있는 이점이 있다.

이러한 HGI제의 도금밀착성은 도금소재인 열연강판의 스케일층에 의해서 크게 저하되므로, 도금 전 산세공정에서 염산, 황산 또는 이들의 혼합용액에서 스케일층을 완전히 제거하게 된다. 그러나 산세공정에서 산세된 열연강판에도 여전히 100~570 Å 정도의 산화피막이 잔존하게 된다¹⁾.

특히 최근 들어서는 고가공성 및 고강도강의 수요 증가로 인하여 Si함량이 0.2wt% 이상 함유된 Si첨가강이 도금소재로 많이 사용되고 있다. 그러나 이와 같은 고 Si함유강의 열연 스케일층은 스케일층과 소지철의 경계에 페올라이트(2FeO·SiO₂)가 형성되는 데, 이 페올라이트는 키잉효과(keying effect)에 의해서 산세공정에서 완전히 제거되지 않고 잔존하게 되어 국부적인 미도금 및 도금밀착성 저하의 원인이 되고 있다²⁾.

그러므로 도금소재의 함유원소에 무관하게 도금할 수 있으며, 산세공정이 생략된 열연 용융아연도금강판(이하, 무산세 HGI제) 제조 방안을 고려한 전보³⁾의 결과에 의하면, 도금소재인 무산세 열연강판의 환원가열처리 조건 조절에 의해서 도금밀착성 확보가 가능함을 도출하였다. 그러나 도금욕의 Al농도가 0.2wt%인 통상적인 아연도금욕에서 도금밀착성을 확보할 수 있는 무산세 HGI제의 적정 환원 가열처리 조건은 가열온도 650°C, 유지

시간 250초, 수소농도 10%이상으로 통상적인 열연 용융아연도금 공정으로 제조하기에는 많은 제약이 따르게 된다.

그러나 무산세 HGI제의 적정 환원 가열처리 조건을 완화하고 동시에 우수한 도금밀착성을 확보할 수 있는 도금조건을 검토하는 과정에서 도금욕의 Al농도 조절이 무산세 HGI제의 이러한 약점을 보완할 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 무산세 HGI제의 도금밀착성에 미치는 도금욕 Al농도의 영향을 체계적으로 검토하여 도금밀착성 향상 mechanism을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 도금소재

도금소재는 POSCO 광양제철소 열연공장에서 생산된 열연강판을 100mmW×200mmL×1.2mmT의 크기로 절단하여 사용하였다. 이때 도금소재인 열연강판의 스케일 제거 유무에 따른 도금밀착성을 비교하기 위하여 열연강판의 한 면은 grinding으로 열연 스케일을 제거하고, 다른 한 면은 열연 스케일이 형성된 채로 사용하였다. 한편 열연 스케일층의 두께는 약 5μm이고, 강성분은 0.04wt%C의 일반저탄소강이었다.

2.2 용융도금시험

스케일을 제거하지 않은 열연강판을 도금소재로 하여 가열대 온도, 유지시간 및 수소농도 등의 다양한 조건으로 환원 가열처리한 후 도금욕의 Al농도가 0.2wt%인 통상의 도금조건에서 편면 도금부착량이 150g/m²이 되도록 용융도금 모사시험장치(RESCA사)를 사용하여 용융도금하였다. 이때 도금밀착성이 가장 열악한 조건, 중간 조건 및 가장 우수한 조건을 선정하여 도금욕 Al농도가 도금밀착성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이때

도금욕의 Al농도는 0.5, 1.0, 3.0, 5.0wt%으로 변화시키면서 도금하였다.

2. 3. 무산세 열연 용융아연도금강판의 물성 평가

도금욕 Al농도에 따른 도금층 단면구조 분석과 스케일층 및 도금층에서의 합금원소의 분포 및 거동을 분석하기 위하여 EPMA 선분석 및 면분석을 실시하였다. 측정은 Zn, Al, O, Fe등 4성분을 도금층 폭방향으로 분석하였다.

또한 도금욕 Al농도 변화에 따른 도금층 성분 거동 조사는 부식억제제가 포함된 5% HCl수용액으로 용해한 후 습식분석 방법으로 Zn, Fe 및 Al 등의 합금원소 농도를 정량화 하는 것으로 하였다.

도금욕 Al농도 변화에 따른 도금밀착성 평가는 JIS G3302에 의거한 0t-굽힘시험을 실시한 후, 굽힘부의 외관 및 0t-굽힘시험 후 taping test시 붙어 나오는 도금층의 박리 정도를 Fig. 1과 같은 기준으로 지수화하여 나타내었다.

또한 도금층 내식성 평가는 JIS Z2371에 의거한 염수분무시험으로 행하였다. 염수분무시험은

35℃에서 5%NaCl의 염수를 1kgf/cm²의 압력으로 분무하였으며, 일정시간 시험후 적청 발생정도를 측정하여 백분율로 평가하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3. 1. 무산세 HGI재의 도금층 미세조직에 미치는 도금욕 Al농도의 영향

도금소재로 무산세 열연강판을 사용하는 무산세 HGI재의 환원 가열처리 조건이 도금층 특성에 미치는 영향을 검토한 전보³⁾에 의하면, 도금밀착성을 확보할 수 있는 적정 환원 가열처리 조건은 매우 제한되었다. 그러나 환원 가열처리 조건의 영향을 검토하는 과정에서 도금욕의 Al농도 증가와 같은 도금조건을 조정할 경우, 도금밀착성이 우수한 무산세 HGI재를 제조할 수 있는 적정 환원 가열처리 조건을 완화할 수 있을 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 열연 스케일층을 다양한 조건으로 환원 가열처리한 후 도금욕 조성이 0.2wt%Al-Zn인 통상적인 도금욕에서 도금한 무산세 HGI재의 도금밀착성을 평가한 결과, 도금밀착성이 가장 우수한 조건 (750℃×60초×10%H₂), 중간 조건 (650℃×120초×10%H₂) 및 가장 열악한 조건 (550℃×120초×10%H₂)에서 도금욕 Al농도 변화가 무산세 HGI재의 도금 특성에 어떠한 영향을 미치는 지를 검토하고자 하였다.

Fig. 2는 스케일을 제거하지 않은 열연강판을 다양한 조건으로 환원 가열처리한 후 0.2wt%Al-Zn인 도금욕에서 도금한 무산세 HGI재의 도금밀착성 평가 결과, 가장 열악한 조건인 550℃×120초×10%H₂에서 환원 가열처리한 후 Al농도가 0.5, 1, 3 및 5wt%인 도금욕에서 도금한 무산세 HGI재의 도금층 단면 미세조직을 나타내었다.

도금욕 Al농도가 0.5wt%에서는 0.2wt%Al인 통상적인 도금욕에서 처럼 도금층/소지철 계면에 두꺼운 합금층이 형성되어 있으며, 그 상부의

구분	3등급	2등급	1등급
	박리 없음	부분 박리	완전 박리
외관 1			
외관 2			

외관1 After 0t-bending & taping test
외관2 : After 0t-bending test

Fig 1 Standard of relative coating adhesion index on hot-dip galvanized iron manufactured without pickling process

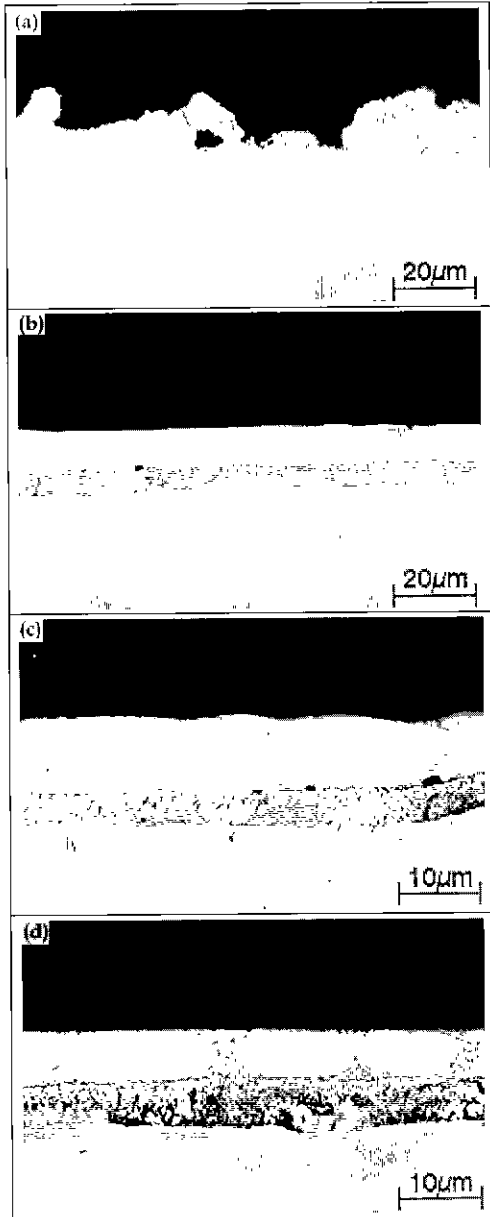


Fig 2 SEM cross-sectional micrographs of HG manufactured without pickling process reduced at $550^{\circ}\text{C} \times 120\text{sec} \times 10\% \text{H}_2$ with different Al content

- (a) 0.5wt% (b) 1wt%
(c) 3wt% (d) 5wt%

도금층도 Zn-Fe로 합금화되어 있다. 이에 반해 Al농도가 1.0wt%이상인 경우에는 소지철 상부에

합금화된 열연 스케일층과 Zn-Fe 합금층이 없는 순수한 아연 및 아연-알루미늄 합금도금층으로 구성된 2층 구조를 보여주고 있다. 또한 도금욕 Al농도가 증가함에 따라 열연 스케일층의 합금화가 촉진되어 도금욕 Al농도가 3wt%에서는 완전히 합금화되었다. Al농도가 5wt%인 경우에는 합금화된 열연 스케일층 상부에 smooth한 구형 또는 타원형 조직과 그 주변을 싸고 있는 빗살무늬 조직이 혼재되어 있는 형상을 나타내고 있다.

이와 같은 도금층 구조를 상세히 분석하기 위하여 EDS 분석한 Fig. 3에 의하면 smooth한 구형 또는 타원형 조직(A)은 순수한 아연도금층(β -Zn상)이며, 빗살무늬(Dendrite arms) 조직(B)은 9wt%의 Al이 함유되어 있는 Al-rich상임을 알 수 있다. 이는 Zn-5wt%Al-Mischmetal(La, Ce)성분계로 상품화된 Galfan[®]의 전형적인 도금층 단면 미세조직과 유사하다. 또한 열연 스케일층의 검은 부분은 대부분이 Fe이고, Zn, Al 및 O이 검출되는 것으로 비추어 보아 열연 스케일층은 Fe-Al-Zn계 화합물과 미환원 철산화물로 구성되어 있으며, 열연 스케일층 내부와 상부의 Zn-Al 합금도금층과의 경계부의 흰 피막은 대부분이 Zn인 Fe-Al-Zn계 화합물을 알 수 있다.

0.2wt%Al-Zn인 통상적인 도금욕에서 환원 가열처리 조건에 따른 도금밀착성을 평가한 결과, 도금밀착성이 중간 정도인 $650^{\circ}\text{C} \times 120\text{초} \times 10\% \text{H}_2$ 와 도금밀착성이 가장 우수한 조건인 $750^{\circ}\text{C} \times 60\text{초} \times 10\% \text{H}_2$ 에서 환원 가열처리한 후 도금욕의 Al농도가 0.5, 1, 3 및 5wt%인 도금욕에 침적하여 도금한 도금층의 단면 미세조직을 Fig. 4 및 5에 각각 나타내었다.

도금층의 단면구조는 도금욕의 Al농도에 관계없이 합금화된 열연 스케일층과 순수 아연 및 아연-알루미늄 합금도금층의 2층 구조를 가지고 있다. 도금욕 Al농도가 0.5wt%인 경우에는 열연 스케일층 상부에 Zn-Fe 합금층인 수풀모양의 out-burst

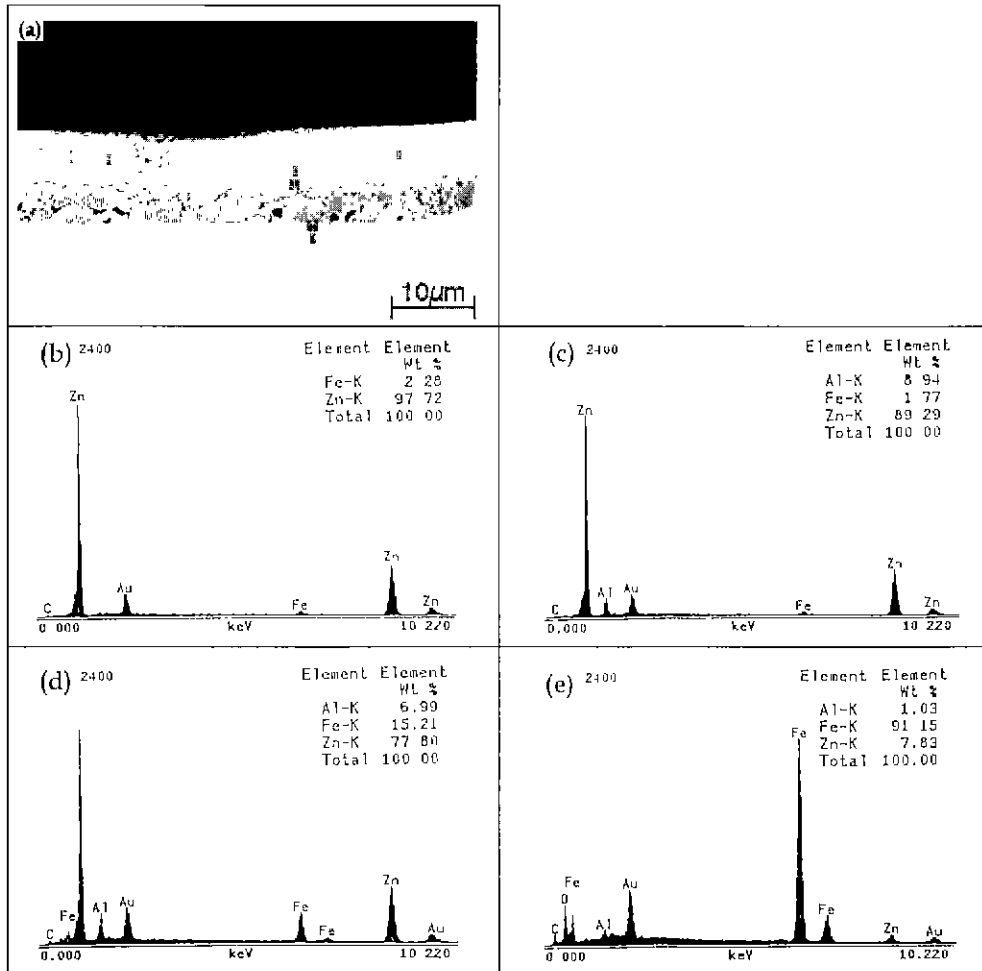


Fig 3 SEM cross-sectional micrograph and EDS analysis of HGI manufactured without pickling process dipped in 5wt%Al-Zn bath after reducing at 650°C × 120sec × 10%H₂
 (a) SEM cross-sectional micrograph (c) EDS point analysis of B position
 (b) EDS point analysis of A position (d) EDS point analysis of C position
 (e) EDS point analysis of D position

조직이 존재하나, 도금욕 Al농도가 0.2wt%인 경우에 비해서는 아주 미약하며, 도금욕 Al농도 1wt% 이상에서는 전혀 존재하지 않았다. 또한 도금욕 Al농도가 증가함에 따라 스케일층 내부에서는 Fe-Zn-Al계 화합물이 증가하기 시작하여 도금욕 Al농도가 1wt%에서 완전히 Fe-Zn-Al계 화합물로 구성되는 것을 볼 수 있다. 도금욕 Al농도에 따른 상부 도금층 외관은 3wt%에서 Al-

rich층과 β-Zn상으로 구분되므로 가열대 온도가 550°C인 경우의 도금욕 Al농도 5wt% 보다 빠르게 도금층이 Zn-Al 합금도금층으로 되는 것을 알 수 있다.

0.2wt%Al-Zn인 도금욕 조성에서 중간 정도의 도금밀착성을 나타낸 가열대 온도 650°C, 가열대 유지시간 60초, 수소농도 10%인 환원 가열처리 조건에서 도금욕 Al농도가 각각 0.5 및 3wt%일때

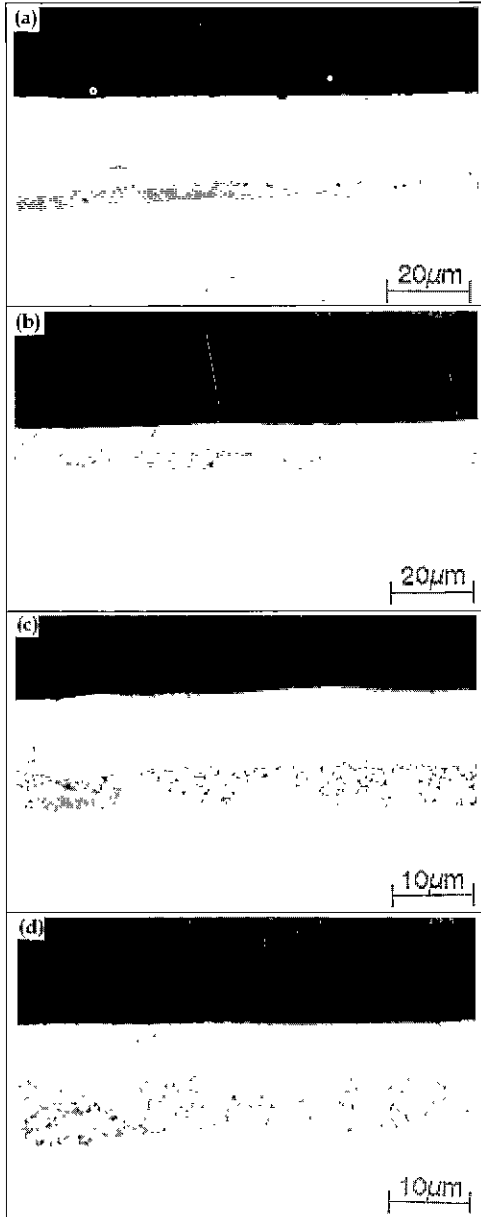


Fig 4 SEM cross-sectional micrographs of HGI manufactured without pickling process reduced at $650^{\circ}\text{C} \times 20\text{sec} \times 10\% \text{H}_2$ with different Al content

(a) 0.5wt% (b) 1wt%
(c) 3wt% (d) 5wt%

의 도금층 단면에 대해서 EPMA 선분석 및 Al, Zn, Fe원소에 대한 면분석을 실시한 결과를 Fig.

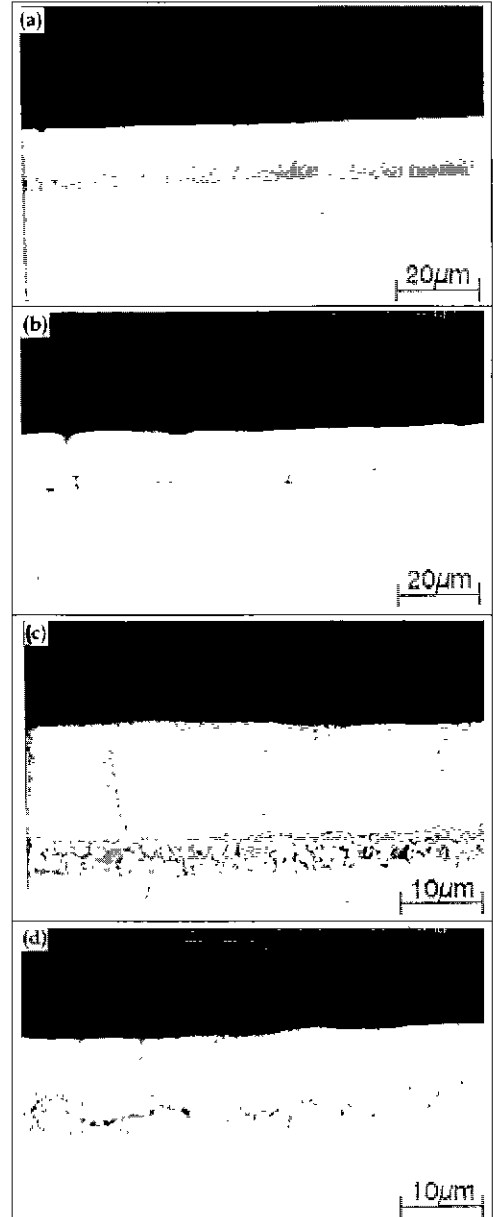


Fig 5 SEM cross-sectional micrographs of HGI manufactured without pickling process reduced at $750^{\circ}\text{C} \times 20\text{sec} \times 10\% \text{H}_2$ with different Al content

(a) 0.5wt% (b) 1wt%
(c) 3wt% (d) 5wt%

6 및 7에 나타내었다.

도금욕 Al농도가 0.5~1wt%의 경우, 도금층내

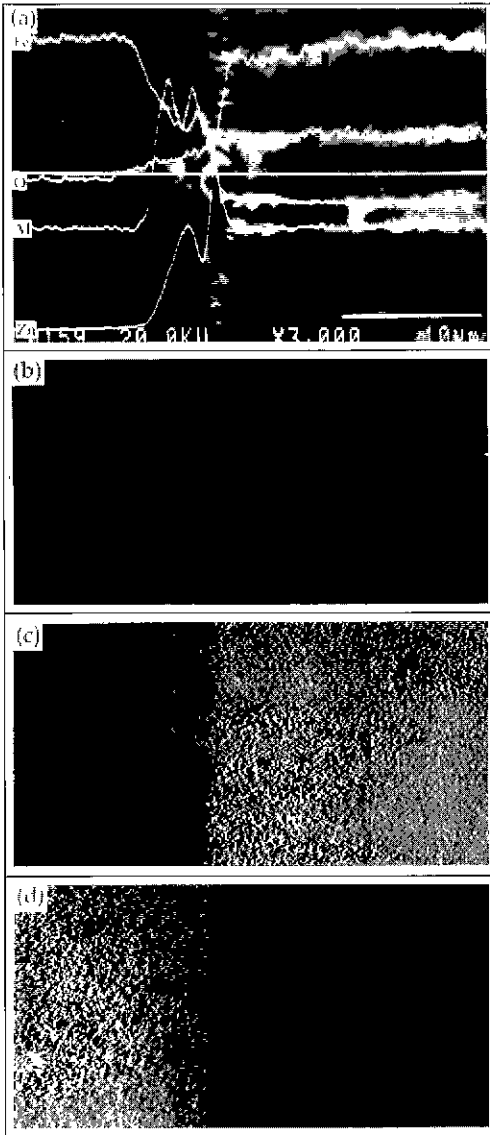


Fig 6 Electron and X-ray images of HG manufactured without pickling process dipped in 0.5wt% Al-Zn bath after reducing at 650°C × 120sec × 10% H₂
 (a) line analysis of Zr, Fe, Al and O
 (b) X-ray image of Al
 (c) X-ray image of Zn
 (d) X-ray image of Fe

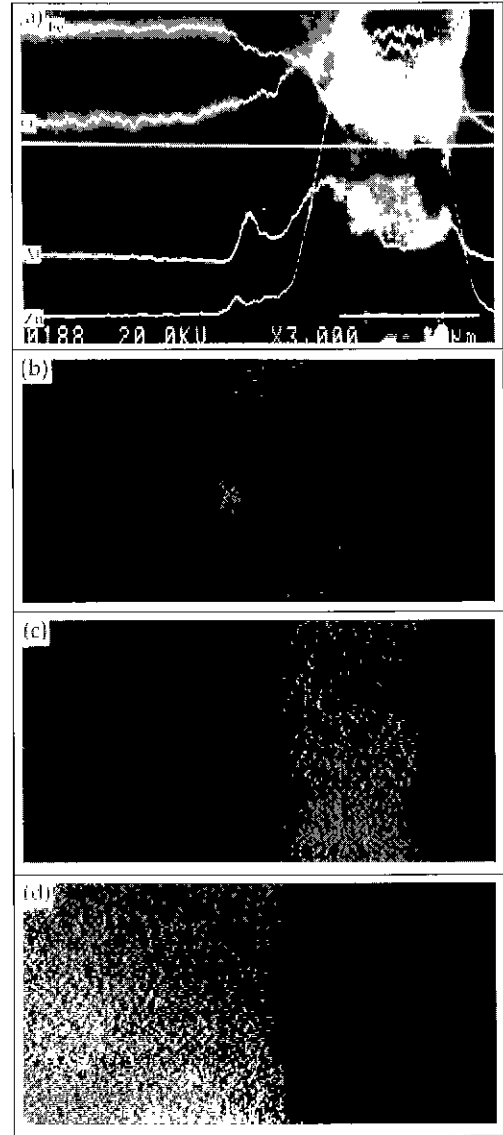


Fig 7 Electron and X-ray images of HG manufactured without pickling process dipped in 3wt% Al content after reducing at 650°C × 120sec × 10% H₂
 (a) line analysis of Zn, Fe, Al and O
 (b) X-ray image of Al
 (c) X-ray image of Zn
 (d) X-ray image of Fe

의 Al은 주로 열연 스케일층 내부에 균일하게 형성되어 있으며, 특히 도금욕 Al농도가 0.2wt%인

경우와 달리, 열연 스케일층/도금층 계면뿐만 아니라 소지철/스케일층 계면에서 Al성분의 석출 밀

도가 높게 나타나고 있다. 또한 도금욕의 Al농도가 3wt%이상인 경우에는 열연 스케일층뿐만 아니라 전 도금층에 대해서 높은 밀도로 석출됨을 알 수 있다. 특히 열연 스케일층 내부 및 각 층의 경계부분에는 도금층의 Al-rich상과 동일한 밀도로 석출되는 것을 볼 수 있다.

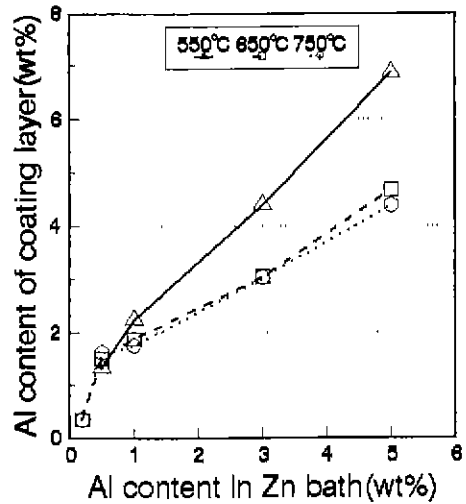
도금층 및 열연 스케일층 내의 Zn거동은 도금욕 Al농도가 0.5~1wt%인 경우에는 Al과 같이 열연 스케일층에 분포하나 분포밀도는 낮으며, 도금욕 Al농도가 3~5wt%인 경우에는 열연 스케일층에서의 분포밀도가 Al 대비 더욱 낮게 나타나고 있다.

이상의 결과에 의하면 도금소재가 산세한 강판인 경우에는 환원 가열처리 후 도금욕에 침적될 경우 활성인 도금욕의 Al 성분이 우선적으로 소지철과 반응하여 Fe-Al계 화합물을 소지철과 도금층 계면에 형성시키나, 도금소재가 무산세 열연강판인 경우에는 열연 스케일층 표면과 먼저 반응하여 연성의 Fe-Al계 또는 Fe-Al-Zn계 화합물이 형성될뿐 아니라 환원 가열처리에 의해서 형성된 균열 및 pore 내로 확산되기 때문에 소지철/열연 스케일층 계면에서 Fe-Al계 또는 Fe-Al-Zn계 화합물을 형성하므로 일반 용융아연도금시 보다 도금욕 Al농도를 높게 관리하여야 할 것으로 사료된다.

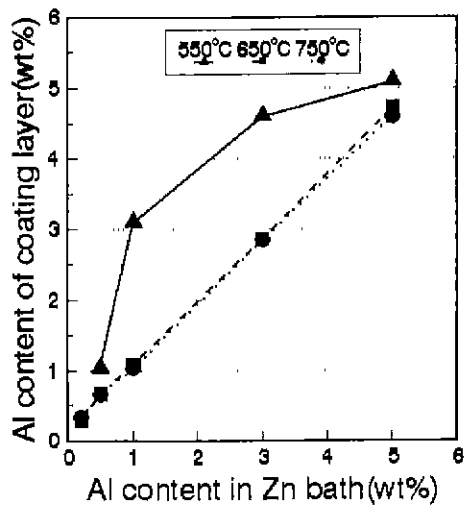
즉 산세강판을 도금소재로 사용하는 경우에는 도금소재의 표면만이 도금층/소지철의 계면 역할을 하지만 열연스케일을 제거하지 않은 열연강판을 도금소재로 사용할 경우에는 열연스케일 표면뿐만 아니라 환원가열처리에 의해서 형성된 균열이나 pore 형태로 환원된 스케일층의 환원철이 계면 역할을 하기 때문에 도금밀착성을 개선하기 위해서는 이러한 계면에서 취약한 Fe-Zn계 합금상의 형성을 방지하고 연성의 Fe-Al계 또는 Fe-Al-Zn계 화합물이 형성되도록 충분한 유효 Al성분이 요구됨을 알 수 있다.

3. 2. 도금층 Al성분과 도금욕 Al성분과의 상관성

Fig. 8의 a) 및 b)는 각각 도금소재가 무산세 열연강판 및 산세 열연강판인 경우의 도금욕 Al농



(a)



(b)

Fig 8 Relationship between Al content of coating layer and Al content of Zn bath at different heat temperature (Holding time 120sec, H₂ content 10%)

(a) HGI manufactured without pickling process

(b) conventional HGI

도 변화에 따른 도금층 Al농도 변화를 나타내었다. 여기서 도금성분의 농도는 상대적인 무게 백분율이기 때문에 무산세 HGI재의 도금층 Al농도

는 약 5 μ m정도의 열연 스케일이 포함되어 있으므로 실제 도금층 Al농도는 산출된 값 보다 훨씬 높은 값을 나타낼 것이다.

무산세 HGI재 및 통상적인 HGI재의 도금층 Al농도는 도금욕 Al농도 증가에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 650 $^{\circ}$ C 및 750 $^{\circ}$ C로 환원 가열처리시 도금층 Al농도와 도금욕 Al농도 관계는 동등한 값을 나타내고 있으나, 도금욕 Al농도가 1wt%이상에서는 550 $^{\circ}$ C로 환원 가열처리시 도금층 Al농도가 도금욕 Al농도보다 높은 값을 나타내었다.

동일한 도금조건에서 도금할 경우, 도금욕 Al농도 1wt%까지는 무산세 HGI재의 도금층 Al농도가 통상적인 HGI재의 도금층 Al농도 보다 높은 값을 나타내었다. 이는 무산세 HGI의 도금소재인 열연강판이 환원 가열처리에 의해서 열연 스케일층이 환원되면서 발생하는 표면의 균열 및 pore로 도금소재의 계면적이 크게 증가하기 때문에 Al성분의 부착이 많게 되는 것으로 판단된다. 특히 650 $^{\circ}$ C이상으로 환원 가열처리한 경우, 통상적인 HGI재의 도금층 Al농도는 도금욕 Al농도와 같은 함량을 나타내고 있으나 무산세 HGI재는 도금층 Al농도가 도금욕 Al농도 보다 1.7~3배 높은 값을 내므로 이를 뒷받침하고 있다. 즉 무산세 열연강판의 도금전 환원처리에 의해서 균열이나 pore가 형성되므로 용융아연 및 용융 알루미늄과 반응하는 계면적이 증가하게 되어 도금층 Al농도가 증가하게 된다. 그러나 도금욕 Al농도가 3wt% 이상에서는 도금층의 Al농도가 감소하는 것은 이와 같은 열연 스케일층의 균열이나 pore가 용융 알루미늄과 반응하여 열연 스케일층이 완전히 Fe-Al-Zn계 화합물로 되었기 때문에 도금층 Al농도가 도금욕 Al농도와 유사한 값을 나타내게 되는 것으로 판단된다. 따라서 도금소재로 무산세 열연강판을 사용하는 경우, 열연 스케일층은 도금욕 Al농도 1~3wt%에서 완전히 Fe-Al-Zn계 화합물이 되는 것으로 판단된다.

3. 3. 도금밀착성에 미치는 도금욕 Al농도의 영향

도금욕 Al농도 변화에 따른 도금밀착성 변화를 수치화하여 환원 가열처리 조건별로 Fig. 9에 나타내었다. 가열대 온도가 550 $^{\circ}$ C일 경우, 도금욕 Al농도가 0.2wt%에서는 완전박리, 0.5~1wt%에서는 부분박리, 3wt%이상에서는 박리가 전혀 일어나지 않았다. 또한 도금욕 온도가 650 $^{\circ}$ C인 경우는 도금욕 Al농도가 0.2wt%에서 부분박리, 0.5wt%이상에서는 박리가 발생하지 않았다. 또한 도금욕 온도가 750 $^{\circ}$ C에서는 본 실험의 도금욕 Al농도 범위인 0.2~5wt%에서 도금박리가 전혀 발생하지 않았다.

가열대 온도가 650 $^{\circ}$ C일 때, 0t-굽힘시험 후 굽힘부 표면외관을 도금욕 Al농도 별로 Fig. 10에 나타내었다. 각 조건에서 윗 부분은 열연 스케일층을 환원한 후 도금한 무산세 HGI재의 도금밀착성을 나타내고, 아랫부분은 같은 조건에서 열연 스케일층을 grinding한 면을 환원한 후 도금한 HGI재의 도금밀착성을 나타낸 것으로 무산세 HGI재는 0.5wt%이상에서는 도금박리가 없으며, 통상적인

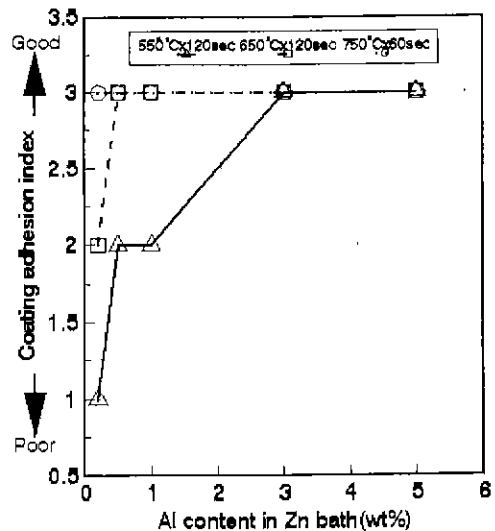


Fig. 9 Effect of Al content in Zn bath on coating adhesion index at different reduction heating conditions

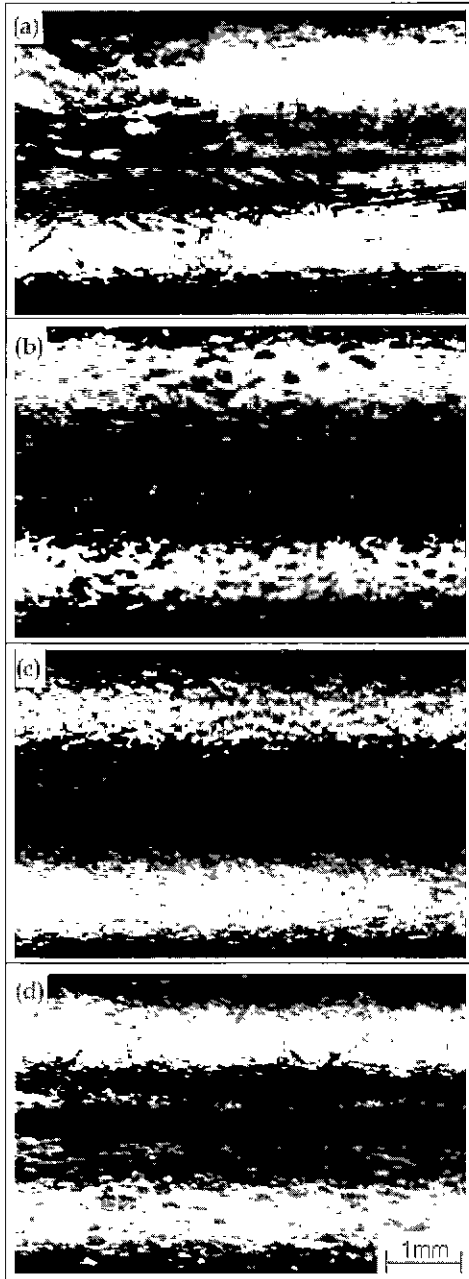


Fig 10 Surface appearances of bent part after 0t-bending test as a function of Al content in Zn bath at 650°C of reduction heat temperature
 (a) 0.2wt% (b) 0.5wt%
 (c) 1wt% (d) 5wt%

HGI제와 동등한 수준을 나타냄을 볼 수 있다.

따라서 무산세 열연강판을 도금소재로 사용하는 무산세 HGI제의 경우, 도금욕 Al농도를 상향 조정함으로써 환원 가열처리 조건을 완화할 수 있음을 알 수 있다. 이는 전술한 도금욕 Al농도에 따른 도금층 단면 미세조직 및 도금층 성분 분석 등에서 알 수 있는 것처럼, 도금욕 Al농도가 0.2wt%으로 낮을 경우에는 도금밀착성을 개선하는 Fe-Al-Zn계 화합물이 열연 스케일층/도금층 계면이나 열연 스케일층 내부에 국부적으로 형성되나, 도금욕 Al농도가 높아지면 열연 스케일층/도금층 계면, 소지철/열연 스케일 계면 및 열연 스케일층 전체가 Fe-Al-Zn계 화합물이 되므로 도금밀착성이 개선되는 것으로 생각된다. 이는 적정 환원 가열처리로 열연 스케일층에 균열 및 pore가 다량으로 형성될 경우 Fe-Al-Zn계 화합물 형성이 촉진되므로 도금밀착성이 개선되는 것으로 판단된다.

따라서 무산세 열연강판을 도금소재로 사용하는 무산세 HGI제의 경우 열연 스케일층을 연성의 화합물층으로 하기 위해서는 적정 환원 가열처리에 의한 열연 스케일층의 균열 및 pore 수 증가와 도금욕 Al농도 증가에 의한 열연 스케일층의 균열 및 pore로의 Al의 확산을 촉진시킬 필요가 있다.

3. 4 내식성에 미치는 도금욕 Al농도의 영향

96시간 염수분무시험한 무산세 HGI제의 표면의 판을 도금욕 Al농도 및 가열대 온도 별로 Fig. 11에 나타내었다. 또한 적청 발생 정도를 육안으로 평가하여 백분율로 Fig. 12에 나타내었다. 도금욕 Al농도 및 가열대 온도가 증가함에 따라 무산세 HGI제의 내식성이 개선되는데 이는 가열대 온도 및 도금욕 Al농도 증가에 의한 도금층의 Zn-Fe 합금화 방지로 인한 아연의 희생방식 작용과 Al의 부동태 피막화가 복합적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다⁴⁾. 즉 도금욕의 Al농도가 0.2~0.5wt%인 경우에는 도금층이 Zn-Fe로 합금화되거나 out-burst조직을 형성하기 때문에 내식성이 열화되나,

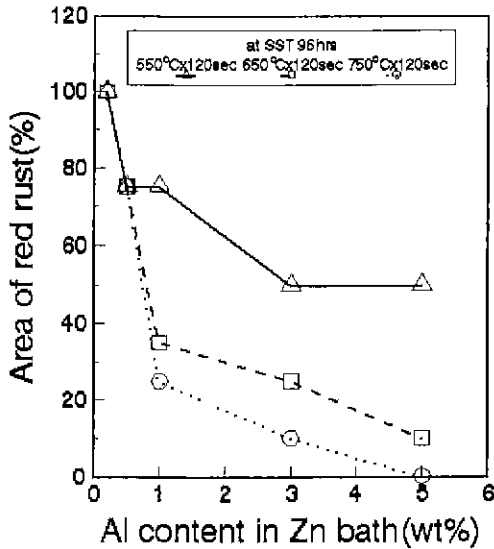


Fig. 11 Changes in area of red rust (%) after 96hrs SST test with Al content in Zn bath at various reduction heat temperature

도금욕 Al농도가 1wt% 이상에서는 도금층의 Zn-Fe 합금화가 일어나지 않으며 도금층의 Zn-Al 화합물에 의한 Al의 부동태화 작용에 의해서 내식성이 개선되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

스케일을 제거하지 않은 열연강판을 도금소재로 사용하는 새로운 도금공정인 무산세 HGI재의 적정 환원처리 조건의 완화 및 도금밀착성에 미치는 도금욕 Al농도의 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 도금욕 Al농도가 3wt% 이상에서는 환원가열대 온도 550°C인 통상적인 용융아연도금강판 제조 조건에서도 산세공정을 생략하면서 도금밀착성이 우수한 무산세 HGI강판 제조가 가능하였다.

2) 도금욕 Al농도 증가는 환원가열처리에 의해 형성된 스케일층의 균열이나 pore에 Zn 및 Al의 확산을 촉진시켜 스케일층에 연성이 우수한 Fe-

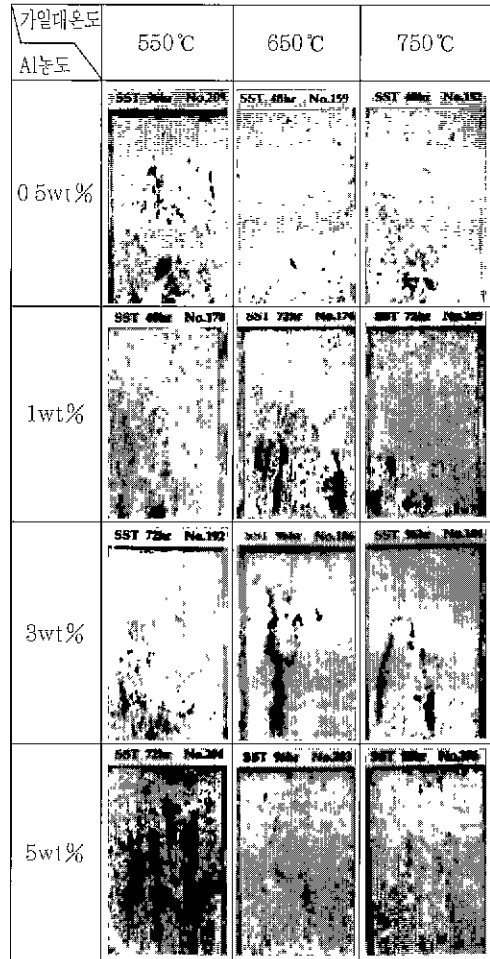


Fig. 12 Surface appearances of HGI manufactured without pickling process after 96hrs SST at different reduction heating conditions

Zn-Al계 화합물이 형성되어 스케일층과 기지조직 간에 anchor역할을 하므로 무산세 HGI재의 도금 밀착성이 우수하게 된 것으로 판단된다.

3) 도금욕 Al농도 증가는 도금소재인 무산세 열연강판의 스케일층을 연성의 Fe-Al-Zn계 화합물 형성을 조장하기 때문에 무산세 HGI재의 적정 환원가열처리 조건을 완화할 수 있었다.

4) 가열대 온도 및 도금욕 Al농도 증가에 의한 도금층의 Zn-Fe 합금화 방지로 인한 아연의 회생

방식 작용과 AI의 부동태 피막화 작용이 복합적으로 작용하기 때문에 무산세 HGI재의 내식성은 우수하였다.

후 기

본 연구는 포항종합제철(주)의 지원으로 수행된 과제의 일부이며, 연구지원을 해주신 포항종합제철(주)에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김종상, 전선호 : 포항산업과학연구원 연구보고서, 과제code 0145A,
2. K.Nishimura et al : TETSU-TOHAGANE, 79. 2(1993), p. 54
3. 최진원, 전선호 : 한국표면공학회지,
4. M. P. Roman : GALVATECH'89, Tokyo, ISIJ, p. 359