

전기아연도금 강에서 미세조직 및 표면유막이 용접 spatter에 미치는 영향

崔漢喆 崔奮川* 金官傑* 安德洙** 金明守**

광양대학계철금속과 *전남대학교 금속공학과 **포항제철광양연구소 압연 연구팀

Effects of Microstructure and Surface Oil Film on the Welding Spatter in Zn Electroplated Steel

H. C. Choe, D. C. Choi*, K. H. Kim *, D. S. Ahn** and M. S. Kim**

Dept. of Iron Manufacture and Metallurgical Engineering, Kwangyang College,
Kwangyang City, Chonnam, 545-800, Korea

*Dept. of Metallurgical Engineering, Chonnam National University, Kwangju City,
500-757, Korea

**Rolling Products Research Team, Kwangyang Research Labs. Technical Research
Laboratories, POSCO Kumho-Dong, Kwangyang, 545-090, Korea

Abstract

In order to investigate the effects of microstructure and surface oil film on the welding spatter in Zn electroplated steel, Zn electroplated surface and layer structure with USS-P addition was observed using XRD, XPS and optical microscopy. Wettability of water drop on the Zn electroplated steel surface was measured using Z.Meil model. Oil absorption test was carried out using oil pen. Morphology of spot welding and spatter with USS-P addition, applied current, and oil-spray or oil-without was observed using SEM and optical microscopy.

Surface morphology of Zn electroplated steel showed finer structure as USS-P content increased. Wettability and oil absorbability on the Zn electroplated surface decreased with increasing USS-P content. Size of welding trace increased and spatter occurred around the welding part as applied current increased, whereas spatter disappeared as USS-P content increased and disappeared in case of oil spraying on the Zn electroplated surface.

1. 서 론

전기아연도금 강판에 대한 수요는 가전산업의 발전과 더불어 고품질의 제품을 요구하고 있으며 국내의 경우에는 포항제철, 일본의 경우는 일신제

강등에서 제조기술의 개선 및 고품질화를 위한 연구^{1,2)}를 계속 하고 있다. 이와 같이 전기아연도금 강판에 대한 연구는 생산성 향상과 제품의 외관이나 내식성개선^{3,4)} 및 제조과정시 작업성의 향상을 위하여 기술개발에 관심이 집중되고 있다. 전기아

연도금강판은 염화물계와 황화물계의 도금강판으로 분류되며 이들은 백색도, 광택성, 도장성 등의 특성에 맞도록 도금과정에서 도금액의 첨가제의 변화나 pH완화제, 표면개량제, 광택제, 합금화물 위한 금속첨가제, 계면활성제등을 첨가하여 도금강판의 표면특성을 개선할 수 있다⁹⁾. 그러나 전기아연도금강판의 표면에 프로세스용접이나 점용접을 행할 때 발생하는 spatter가 용접부 주위의 기지조직과 반응하여 용착되는 문제가 발생하는 경우도 있다. 이러한 경우는 여러가지 용접조건에서 발생하는 요인이 많다. 즉 도금강판용접시 전극의 플량이나 전극의 냉각조건, 용접압력등이 있으며 아연도금된 표면의 조직도 큰 영향을 미칠 것으로 예측된다. 도금강판의 접합은 주로 점용접이나 프로세스용접으로 하기 때문에 이들 용접에 따른 제 특성변화에 대한 연구가 필요하나 이에 대한 연구가 미흡하며 특히 spatter의 영향에 관한 연구는 국내에서 거의 미미하다.

따라서 본 연구에서는 아연도금강판의 조직변화가 용접시 발생하는 spatter현상에 미치는 영향을 조사하기 위하여 아연도금조건중에서 결정립 미세화제의 함량을 달리하여 아연도금강판의 기지조직을 변화시키고 도금표면에 oil을 도포하였을 때 용접부형상 및 spatter의 발생에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 전기아연도금과 표면 및 도금층 관찰

본 실험에서 사용된 도금장치는 아크릴판으로 동일면적의 음극과 양극이 마주 보게 제작한 것으로서 일정한 온도유지를 위한 가열장치와 용액을 교반할 수 있도록 여러개의 작은 꾸병을 만들어 질소가스와 연결할 수 있도록 설계하였다. 도금액은¹⁰⁾ ZnCl₂와 KCl을 증류수에 용해시키고 pH를 조절한

후 도금액으로 사용하였으며 도금액 조성을 Zn²⁺: g/l) 및 Cl⁻: 220 (g/l)으로하고 도금무게는 20 (g/in²)로, 전류밀도는 60 (A/dm²), 온도는 60°C 및 pH는 5.0로한 도금조건을 사용하였다. 이와 같은 도금액에서 도금된 표면의 결정구조 변화를 부여하기 위하여 USS-P첨가제를 0.05, 0.08, 0.10, 0.12, 0.15, 0.20, 0.30 및 0.50 ml/l를 첨가한 후 도금시편을 제조하였다. 도금용 음극은 두께 0.8mm의 냉연강판을 사용하였고 양극은 포항제철 광양공장의 EGL에서 사용중인 아연피를 절단하여 DE-GREASING, RINSING, PICKLING, RINSING, ELECTROPLATING, RINSING, DRYING 과 같은 전기도금공정으로 도금을 하였다. 도금이 끝난 시편의 방정유 도포는 포항제철 광양공장의 line과 똑같은 조건으로 하기 위해서 line에서 직접하였다.

아연도금후의 표면과 도금층은 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 표면을 관찰하였고 광학현미경을 사용하여 도금층을 관찰하였으며 XRD와 XPS를 이용하여 도금된 표면에서의 성분 및 조직을 조사하였다.

2.2 접촉각측정과 유성펜에 의한 기름흡수성시험

USS-P첨가량에 따른 접촉각측정은 오일도포된 아연도금강판위에 마이크로피펫을 사용하여 1.5ml의 일정량의 증류수를 떨어뜨리고 약 20초 후의 물방울 모양을 현미경을 사용하여 촬영한 후 Z.Me¹¹⁾의 방법에 의해 계산하였으며 실제 측정된 wetting angle값과 비교 검토하였다.

USS-P첨가량에 따른 아연도금강판의 기름흡수성을 시험하기 위하여 유성펜을 사용하여 점과 선을 그은 후 약 30초 후에 광학현미경을 사용하여 퍼짐 정도를 비교 검토하였다.

2.3 점용접부의 형상과 spatter의 형상관찰

USS-P첨가량에 따른 아연도금강판의 용접형상변

화를 조사하기 위하여 점용접기를 이용하여 통전시간을 15cycle로 일정하게 유지한 후 전류를 4000, 5000, 6000 및 7000A으로 변화시켜 용접한 후 용접부의 형상을 관찰하였다.

USS-P첨가량에 따른 아연도강판에 오일을 도포

한 경우와 도포하지 않은 상태에서 프로젝션 용접 시 용접부주위에 형성되는 spatter의 형상을 관찰하기위하여 10KA의 전류조건으로 프로젝션용접하여 주위에 떨어진 spatter의 형상을 stereography 현미경을 사용하여 관찰하였다.

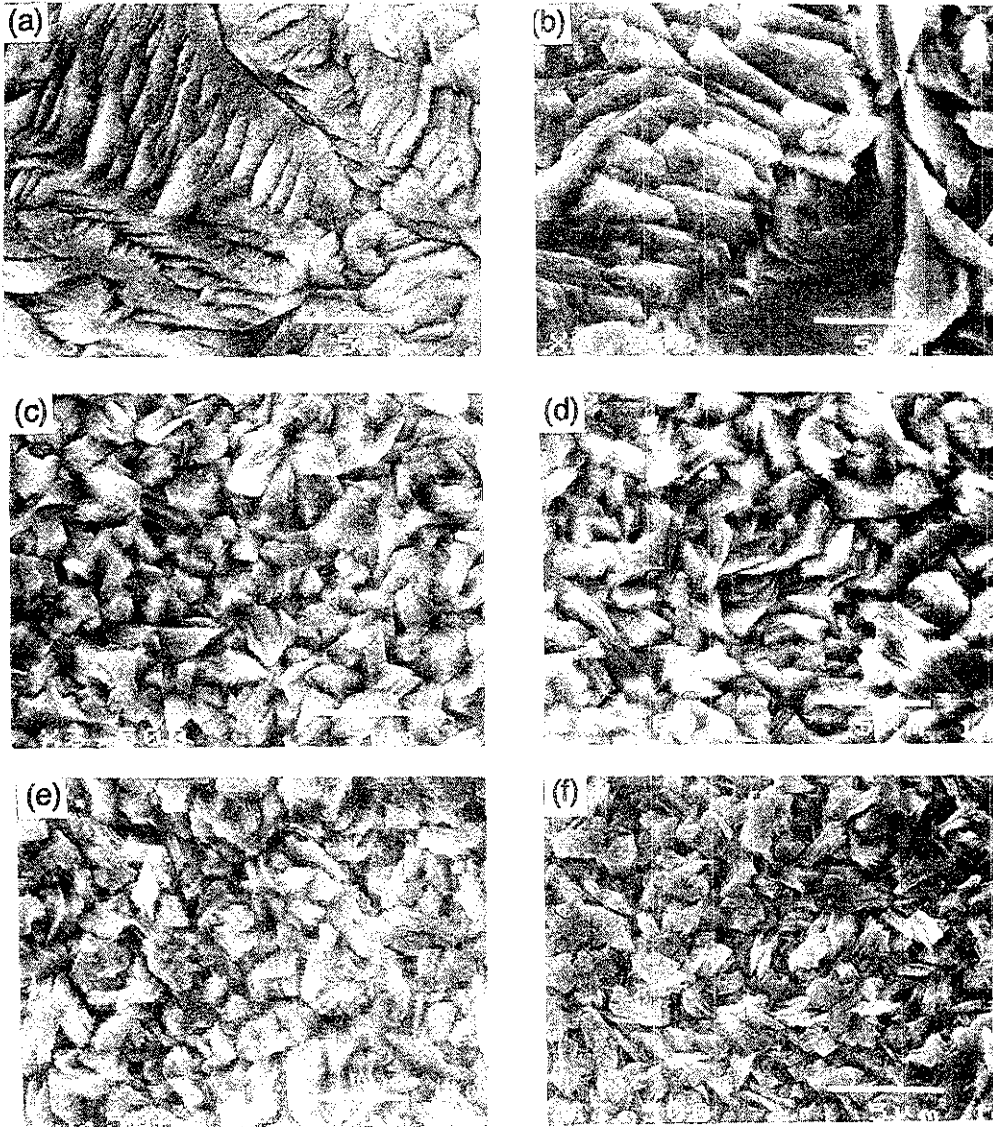


Fig. 1 SEM micrographs of zinc-electroplated steel surface with USS-P addition. (a) without addition (b) 0.05ml/l (c) 0.08ml/l (d) 0.18ml/l (e) 0.30ml/l (f) 0.50ml/l

3. 결과 및 고찰

3.1 USS-P첨가량에 따른 아연도강판의 표면 morphology와 도금층

Fig. 1은 결정립 미세화제 USS-P첨가에 따른 전기아연도금강의 도금표면을 주사전자현미경으로 촬영한 것이며 (a)는 USS-P를 첨가하지 않은 경우로 입자가 상당히 조대하게 나타나 있으며 0.05ml/l를 첨가한 (b)의 경우는 (a)에 비해서 결정립이 훨씬 미세해졌음을 볼 수 있다. 또 0.08ml/l가 첨가되면 (c)와 같이 방향성이 불규칙하고 결정립이 미세해짐을 보이며 도금액중 첨가제인 USS-P의 함량을 더욱 증가시켜 0.18ml/l에서(d) 부터 0.30ml/l 까지(e) 첨가하면 미세화의 정도가 비슷한 모양을 보이며 0.18ml/l이상 첨가되면 특정면에서 특정방향으로 성장된 결정의 양상은 보이지 않고 random한 결정양상을 보이고 있다. 이는 도금액중에 첨가제가 첨가되면 전류밀도나 과전압을 변화시켜 결정표면에서 결정성장을 방해하거나 성장형태에 영향을 주었기 때문으로 생각된다. USS-P를 0.5ml/l로 가장 많이 첨가한 (f)의 경우는 결정립이 가장 미세함을 보이고 있다. 따라서 USS-P의 함량이 점점 증가 함에 따라 결정이 미세화됨을 확인할 수 있다.

Fig. 2는 도금표면의 결정구조를 조사하기 위하여 Cu target를 사용하여 얻은 XRD pattern으로 도금액중에 첨가제인 USS-P를 0ml/l에서 0.20ml/l까지 첨가한 경우의 표면에서의 Zn성분 및 Fe의 peak변화를 나타내고 있다. 첨가제를 첨가하지 않은 도금조건(a)으로 제조된 아연도금강판은 2 θ 가 36정도에서 peak의 세기가 가장 높아 (001)특정면으로 결정이 성장⁷⁾하였음을 예측할 수 있다. 그러나 첨가제가 점점 증가함에 따라서 그 세기는 현저히 감소함을 보이는데 이는 특정방향으로의 성장이 첨가제의 영향으로 억제되었음을 보여줌을 알 수 있으며 Fig. 1의 도금조직사진과 잘 일치함을

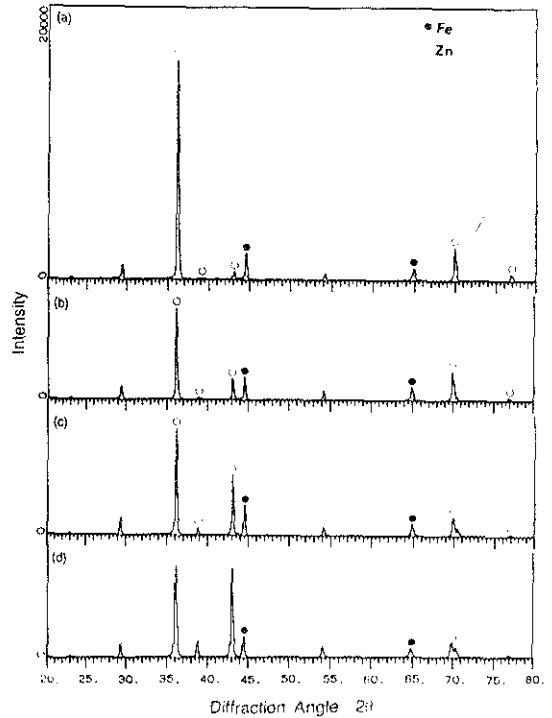


Fig. 2 XRD patterns of zinc-electroplated steel specimens with USS-P addition. (a) without addition (b) 0.05ml/l (c) 0.10ml (d) 0.20ml/

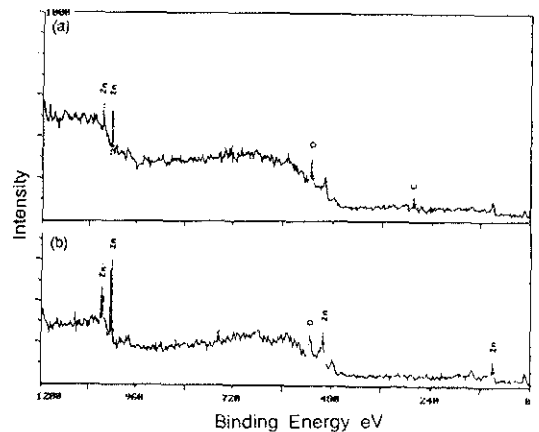


Fig. 3 XPS spectra of zinc-electroplated steel surface with USS-P addition. (a) without additon (b) 0.08ml/l (c) 0.10ml/l (d) 0.20ml/l

알 수 있다.

Fig. 3은 도금액중 첨가제인 USS-P의 함량의 증가에 따른 도금표면에서의 도금성분 변화를 XPS를 사용하여 조사한 결과이다. 표면에서 Zn의 peak가 주로 나오고 있어 도금이 잘 이루어 졌음을 확인할 수 있으며 첨가제가 증가함에 따라서는

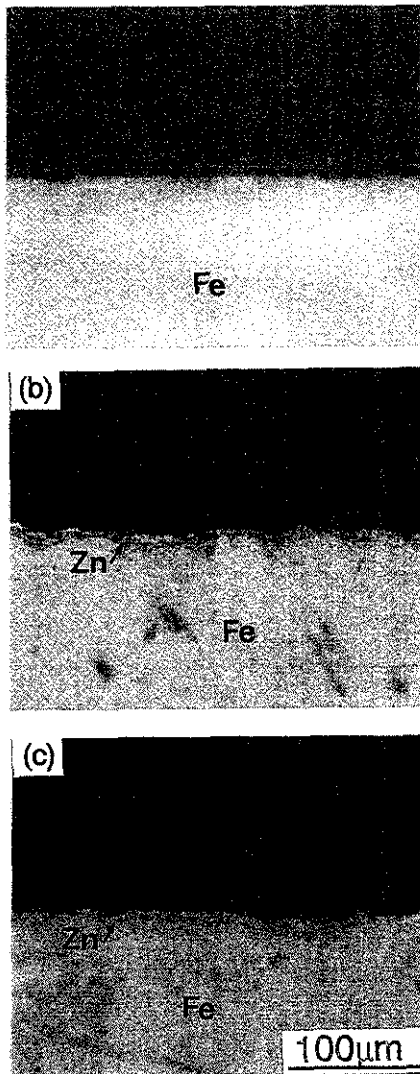


Fig. 4 Optical micrographs of cross section of zinc electroplated steel with USS-P addition. (a) 0.08ml/l (b) 0.12ml/l (c) 0.50ml/l

성분의 조성변화나 다른 성분의 peak는 보이지 않고 있어 단지 결정립의 미세화에만 관련되어 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 도금층을 관찰하기 위하여 호마이카로 mounting한후 220번부터 1000번까지 에머리페이퍼로 연마하고 0.1의 알루미나 분말로 시편을 최종 polishing한후 광학현미경으로 촬영한 것으로 (a)는 USS-P를 0.08ml/l 첨가한 것을, (b)는 0.12ml/l의 것, 및 (c)는 0.50ml/l 도금층을 보여주고 있다. USS-P를 0.08ml/l첨가한 것은 도금층이 균일하고 상당히 치밀하게 도금되었음을 알 수 있다. 이때 도금층과 기지와와 방향성은 (0001) -Zn // (110) - Fe의 방위관계⁸⁾를 갖는다는 보고가 있으며 이들 층은 주로 ZnFe⁹⁾로 구성되며 annealing처리시에 Zeta(FeZn₁₃), Delta(FeZn₇)¹⁰⁾ 등이 형성될 수도 있다. 또 USS-P를 0.12 및 0.5ml/l첨가한 것의 도금층은 표면의 균일성이 감소함을 보이고 있다. 따라서 USS-P가 0.10ml/l 이내로 첨가되면 도금층이 균일하고 치밀함을 보이거나 그이상 첨가되면 표면의 균일성이 감소함을 알 수 있다.

3.2 USS-P첨가량에 따른 젖음성과 기름흡수성

Table 1은 1.50ml의 일정량의 증류수를 떨어뜨린 후 약 20초후의 물방울 모양으로부터 현미경을 사용하여 접촉각을 구한 것과 Z.Me⁶⁾의 방법을 이용하여 측정된 결과를 나타낸 것이다. 여기에서 보면 USS-P첨가량이 증가됨에 따라 실제 측정된 값이나 Z.Me의 방법에 의해 구한 값이 모두 접촉각이 증가된 양상을 보임을 알 수 있다. 이는 결정립의 미세화로 인해 아연도금강판 표면에 방청유를 도포하였을 때 균일한 도포가 이루어져 젖음성이 감소한 것으로 생각된다.

Fig. 5는 USS-P첨가량에 따른 아연도강판의 기름흡수성을 시험하기위하여 거시적인 방법이지만 유성펜을 사용하여 점과 선을 그은 후, 약 30초 후에 광학현미경을 사용하여 선과 점의 중심점으로부터

Table 1. Water drop wettability on Zn-electroplated steel surface.

Samples (USS-P, ml/l)	Measured wetting angle (θ)	h(mm)	R(mm)	L(mm)	θ values $\sin \theta = (L/2)/R$
without	18.5	1.0	4.0	5.5	43.4
0.05	17	0.9	5.0	7.0	44.4
0.08	19	1.0	3.5	5.0	45.5
0.10	26	1.5	5.5	8.0	46.6
0.12	23	1.2	5.0	8.0	53.1
0.15	24	1.2	5.0	8.0	53.1
0.20	32	1.5	5.0	8.0	53.1
0.30	32	1.2	4.0	6.5	54.1
0.50	30	1.5	5.0	8.0	53.1

* Z. Mei model : $(L/2)^2 + (R - h)^2 = R^2$

$$R = \frac{(L/2)^2 + h^2}{2h} \quad \sin \theta = \frac{L/2}{R} = \frac{2}{\frac{L/2}{h} + \frac{h}{L/2}}$$

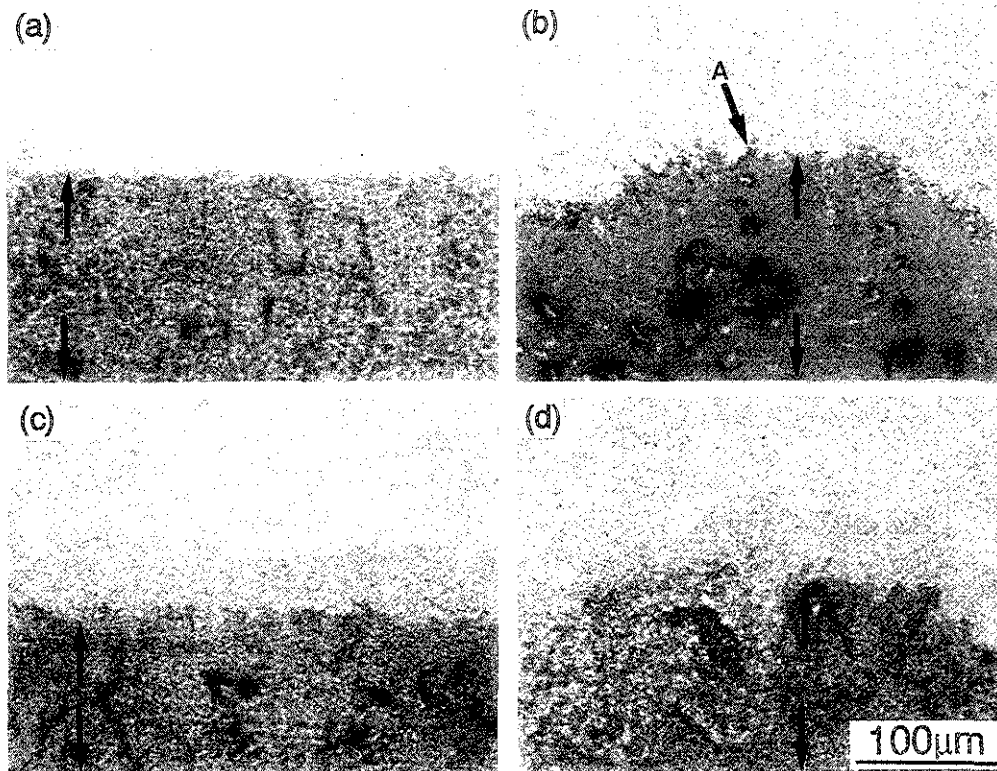


Fig. 5 Absorption appearance of oil pen ink on zinc-electroplated steel surface with USS-P addition. (a) line pattern of 0.05ml/l USS-P (b) point pattern of 0.05ml/l USS-P (c) line pattern of 0.15ml/l USS-P (d) point pattern of 0.15ml/l USS-P

터 퍼짐정도를 촬영한 것으로 (a)는 0.05ml/l의 USS-P를 첨가한 경우 선을 그었을때의 형상이며 (b)는 점을 찍었을 때의 것이다. 선과 점을 펜으로 그렸을때 모두 퍼짐정도가 A부분과 같이 불규칙하게 잉크가 번져 있음을 확인 할 수 있다. 이는 결정립이 조대하여 아연도강판의 오일 도포시 균일한 흡수가 일어나지 않아 유성펜을 사용하여 점과 선을 그었을때 흡수정도는 크다는 것을 알 수 있다. 또 USS-P첨가량을 0.15ml/l로 증가하였을때 선과 점을 펜으로 그린 (c) 및 (d)의 경우 잉크가 퍼지는 양상이 완전한 모양을 보이며 화살표로 나타낸 퍼짐정도가 (a)와 (c)에 비하여 적음을 확인할 수 있다. 따라서 유성펜에 의한 오일 흡수성은 USS-P첨가량이 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다.

3.3 USS-P첨가량에 따른 용접부형상과 발생된 spatter의 형상

Fig. 6은 USS-P첨가량에 따른 아연도강판의 용접형상변화를 조사하기 위하여 점용접기를 이용하여 전류를 4000(1), 5000(2), 6000(3) 및 7000A(4)로 변화시켜 용접한 후 용접부의 형상을 사진기로 직접 촬영한 것이다. 인가한 전류가 증가할 수록 용접부의 크기는 증가하고 있음을 알 수 있다. 용접형태는 강판의 두께등 여러가지 요인에 의해 좌우되는데 본 연구에서는 강판의 두께 등을 일정하게 하고 단지 도금피막의 구조만 변화시켰다. USS-P가 첨가되지 않은 (a)에서 보면 전류가 낮으면 spatter가 발생되지 않지만 인가 전류가 높으면 7000A를 가한 4의 경우와 같이 용접형상주위에 spatter가 발생되었음을 확인할 수 있다. 따라서 전류의 세기에 따라 spatter가 발생될 수 있음을 알 수 있다. 그러나 USS-P가 증가됨에 따라 spatter가 관찰되지 않았는데 이 역시 결정립의 미세화로 인한 오일도포의 균일성에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 7은 전기아연도강판에 발생하는 spatter의

형상을 SEM으로 촬영한 사진(a)과 USS-P첨가량에 따른 아연도강판에 오일을 도포하지 않은 경우 (a, d)와 도포한 상태(c, y)에서 프로젝션 용접시 용접부 주위에 떨어지는 spatter의 형상과 수를 보여 주고 있다. 정량적으로 평가하기는 어렵지만 사진상으로 보면 USS-P가 첨가되지 않고, 미량첨가된 경우가 오일을 도포한 경우나 도포하지 않은 경우 모두 spatter가 많게 보이며 이 역시 위에서 고찰한 결정립의 미세화정도로 고찰이 가능하다. 특히 오일을 도포하지 않은 경우에 spatter가 더 많이 보이는데 이는 oil의 불균일한 도포로 표면에서 wetting angle을 감소 시키기때문이다. 또 USS-P증가는 spatter의 발생이 적는데 이는 결정립의 미세화로 인해 오일도포시 균일하게 도포되어 용융입자의 젖음성을 감소시키기 때문에 첨가되지 않은 경우보다 spatter의 발생이 적다고 생각할 수 있다.

4. 결 론

USS-P첨가량을 달리하여 제조한 도금육에서 전기아연도금한 강판의 미세조직 및 표면유막이 용접 spatter에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) USS-P첨가량에 따른 아연도강판의 표면 morphology는 USS-P의 함량이 점점 증가함에 따라 결정이 미세화되며 0.10ml/l이상 첨가되면 특정면에서 특정방향으로 성장된 결정의 양상은 보이지 않고 random한 결정양상을 보인다.

2) 도금층은 USS-P가 0.10ml/l 이내로 첨가되면 도금층이 균일하고 치밀함을 보이나 그이상 첨가되면 그 정도가 감소함 보인다.

3) USS-P첨가량에 따른 젖음성의 변화는 USS-P첨가량이 증가하면 접촉각이 증가함을 보인다.

4) 전기아연도금강판의 표면에서 오일흡수성은 USS-P첨가량이 증가함에 따라 감소한다.

5) USS-P첨가량에 따른 아연도강판의 전류변화에 의한 용접부형상변화는 인가한 전류가 증가할수록 용접부의 크기는 증가하고 용접부 주위에 spatter가 발생된다. 또 USS-P가 증가됨에 따라

spatter가 발생되지 않는다.

6) 오일도포 유무에 따른 프로젝션용접시 spatter의 발생은 USS-P가 미량첨가된 경우에 오일을 도포한 경우나 도포하지 않는 경우 모두

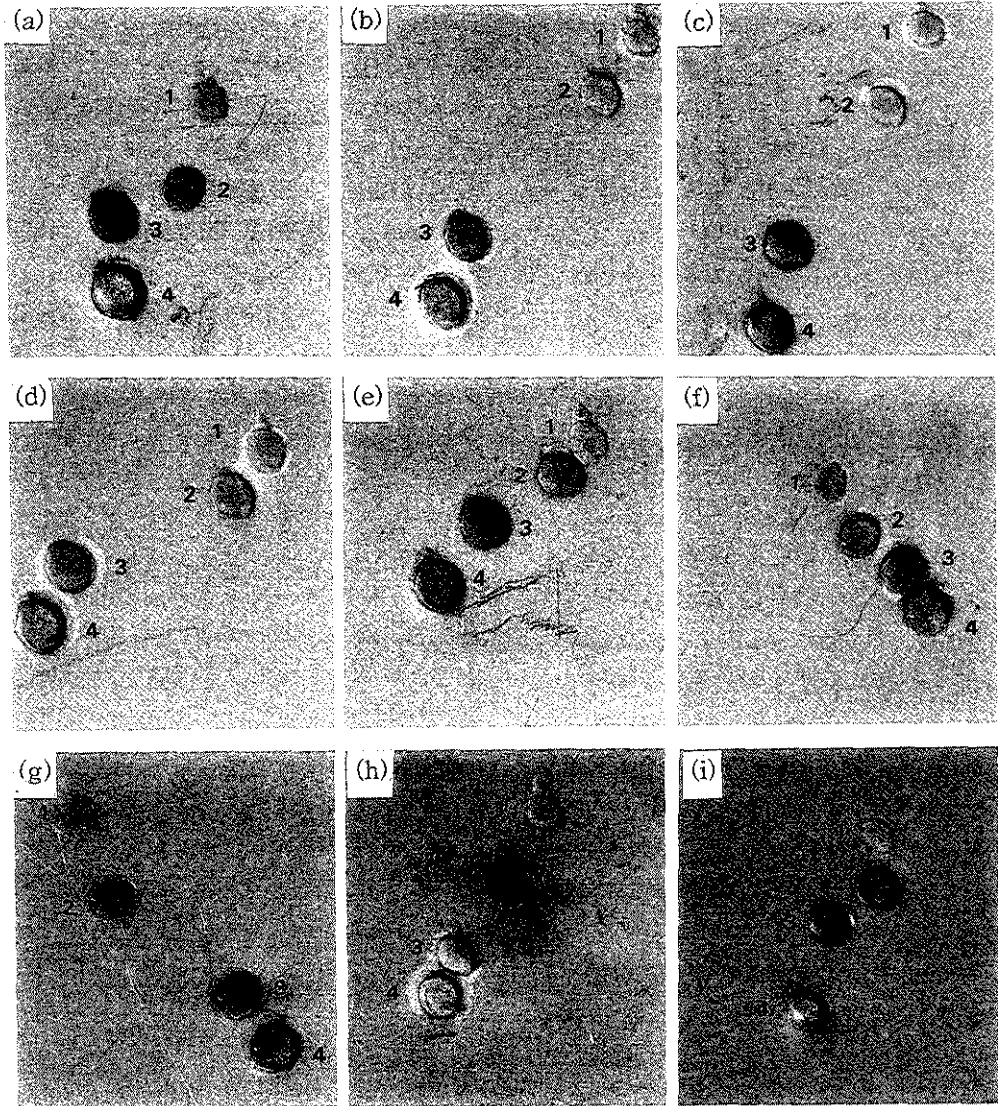


Fig. 6 Spot weld trace of zinc-electroplated steel with USS-P addition and applied current : 4000A
 (1), 5000A (2), 6000A (3), 7000A (4)
 (a) without addition (b) 0.05ml/l (c) 0.08ml/l (d) 0.10ml/l (e) 0.12ml/l
 (f) 0.15ml/l (g) 0.20ml/l (h) 0.30ml/l (i) 0.50ml/l

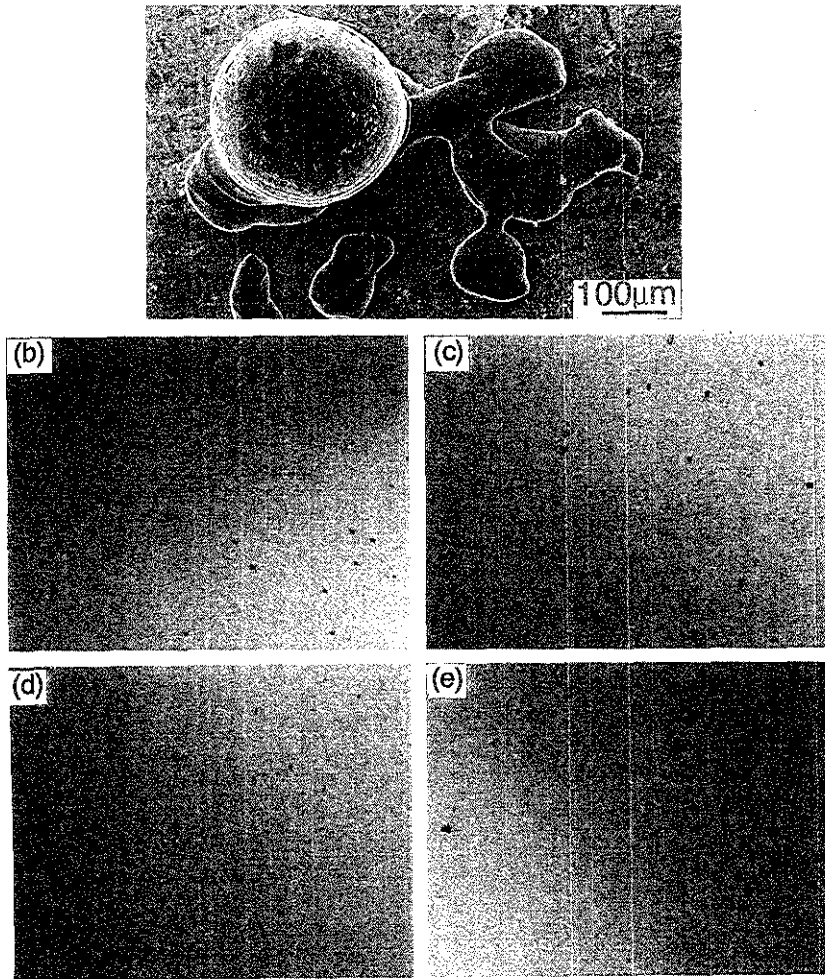


Fig. 7 The distribution and number of spatter after projection weld of zinc-electroplated steel as various USS-P addition.

(a) SEM micrograph of spatter shape (b) 0.08ml/1(Oil-without)

(c) 0.08ml/1(Oil-spray) (d) 0.20ml/1(Oil-without) (e) 0.20ml/1(Oil-spray)

spatter가 많이 발생되나 USS-P가 증가하면 오일을 도포한 경우에 spatter발생이 현저히 감소한다.

후 기

본 연구는 1995년도 포항종합제철주식회사의 연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Masaru Sagiyama, Akira Hiraya and Tsutomu Watanabe : ISIJ, 77 (1991) 251
2. Kazumi Nishimura, Yasuhiko Miyoshi and Takashi Hada : ISIJ, 73 (1987) 142
3. Seijun Higuch : Toshinori Mizuguchi, Ken-ichi Asakawa and Toshinori Katayama : ISIJ, 6 (1990) 123
4. Kimita Hayashi, Yoichi Ito, Chuichi Kato and Yasuhiko Miyoshi : ISIJ, 77 (1991) 264
5. 염희택 외1 : 도금·표면처리, 문운당 (1995) 193
6. Z. Mei, A. J. Sunwoo and I. Collier : J of metals OM., 22 (1987) 1835
7. Ref. 5 : 54
8. Y. Ohmori, and K. Nakai : ISIJ, Vol. 33 (1993) 1196
9. J. Mackowiak and N. R Short : International Metals Reviews No. 1, (1979) 1
10. Roland Gouel : Galvatech'95 Conference Proceedings, (1995) 87