

논문

Al 과 스테인레스강의 주조접합을 위한 STS430(Fe-17wt.%Cr) 강의 표면처리 특성연구

김억수†

울산대학교 첨단소재공학부

A Study on the Surface Characterization of Fe-17wt.%Cr Steel for Cast-bonding of Al and Stainless Steel

Kim, Eok-Soo†

The school of Materials Science and Engineering, University of Ulsan

Abstract

To overcome the undesirable deformation, peeling off and geometrical restrictions which were mainly caused by differences in thermal expansion coefficients during the cladding of aluminum strip and stainless strip, new processing method based on vacuum die casting is designed and implemented in fabricating Al/Fe-17wt%Cr steel(stainless steel). To increase cast-bonding ability, the surface of Fe-17wt%Cr steel is electrochemically etched to have optimum pit size and density. The optimum conditions to generate best pit are as follows:

Solution : 1 M FeCl₃+1 M NaCl, Addition : CuCl₂+HCl, Current density : 80 mA/cm², Total current : 400 coulomb/cm², AC frequency :60 Hz.

Keywords : Cast-bonding, Al-STs steel, Electrochemical etching, Pit size and density.

(Received May 8, 2005; Accepted June 19, 2005)

1. 서 론

최근 고유가의 현상과 더불어 에너지절약, 기간산업의 고도화 및 정보 사회화가 급속하게 추진되고 있으며, 이에 따라 각 분야에서의 첨단기술개발이 더욱더 중요시 되고 있다. 소재분야에 있어서도 첨단기술의 발달에 따라 기존 소재의 기능적 한계를 극복할 수 있는 고기능성 신소재 개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 이 요구에 대응하기 위해서 각 방면으로 소재개발에 힘을 기울이고 있으며 특히, 금속재료 분야에서는 금속 특유의 성질을 최대한으로 이용하여 경량화, 강인화, 고기능화에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.

그 결과 일본을 비롯한 선진국에서는 자동차 및 수송기계를 중심으로 한 알루미늄 복합재료의 개발이 가시화되어 피스톤, 콘로드, 실린더 라이너 등 많은 기능부품에 알루미늄 복합재물이 적용되고 있으며, 산업용 및 가전용 복합재료의 하나로 Al/스테인레스강, 스테인레스강/Al/스테인레스강, Al/Cu 등의 층상 복합재(clad재)가 실용화되고 있는 추세이다[1-4].

국내의 경우도 늦은 감은 있지만 자동차 및 수송기계 부품에 있어서는 복합재료의 개발이 완성차업체 및 학계, 연구소 등을 중심으로 활발한 연구 분위기가 조성되어 이제 막 개발 시작품이 나오고 있어 다행스러운나 현재 직면해 있는 시장개

발과 환경문제, 고성능을 요구하는 소비자의 욕구 등을 고려할 때 복합재부품의 개발이 더욱 가속화되지 않으면 안 될 입장에 놓여있다. 그러나 전기, 전자 및 산업용, 가전기기 등에 있어 이러한 복합재의 개발은 상대적으로 열악하여 선진국, 특히 일본과는 큰 기술격차를 보이고 있다. 이웃 일본의 경우 수년 전부터 가전 조리기기를 중심으로 이러한 복합재를 개발 적용하고 있으며, 최근에는 취반기용 오븐(oven)의 제조원가 절감 및 열효율 향상을 위해 유도가열에 의해 오븐을 가열하는 이른바 IH(Induction Heating)형 오븐의 개발로 소비자의 관심을 불러 모으고 있다.

IH형 조리기기는 조리물의 전체를 균일하게 가열하기 위해 화기의 불균일을 작게 하는 특성을 지니고 있으며, 코일에 고주파 전류를 흘려 자장변동을 일으키고 오븐의 일부에 고전류를 발생시켜 가열하는 방식이다. 따라서 와전류를 쉽게 일으키는 철 또는 스테인레스강과 같은 자성체 금속과 발생한 열을 전체적으로 균일하게 전파하기 위한 열전도율이 높은 알루미늄 합금의 2중 구조로 되어 있다.

이러한 IH형 조리기기의 일반적인 제조방법으로는 스테인레스강판에 알루미늄 판을 가열하면서 압연에 의해 금속간 결합을 시켜 층상 복합재를 형성하여 프레스 성형가공에 의해 소정의 형태로 가공하는 것이 있다. 그러나 이 제조방법으로 제조된

†E-mail : esgim@mail.ulsan.ac.kr, osgim@korea.com

층상복합재의 경우 대단히 경한 스테인레스강판과 아주 연한 알루미늄 판과의 큰 경도차로 많은 성형상의 기술적인 애로가 있었다. 또한 표면의 코팅 처리시 고온가열(350°C 이상)로 층상 복합재를 형성하는 양 이종재질의 열팽창율의 차이에 의해 변형 등의 문제는 물론 다공질 및 고가 제조설비의 요구로 제조원가 상승의 문제, 게다가 열효율이 우수한 두꺼운 조리기의 제조가 불가능한 결점을 지니고 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 이러한 IH형 조리기의 결점을 보완할 수 있는 알루미늄합금과 스테인레스강과의 경쟁력있는 이종접합재료의 개발로 제조원가 절감과 열효율성 향상을 실현하고자 하였으며, 가장 최적의 공법으로 near-net-shape성과 대량생산을 기대할 수 있는 고압주조법을 선택하여 Al/스테인레스강 이종재료의 주조접합을 가능하게 하는 핵심기술로 스테인레스강판의 주조접합표면을 전기화학적 에칭에 의해 표면처리[5-7]하는 기술을 본 연구에서 최초로 연구 개발하고자 하였다.

2. 실험 방법

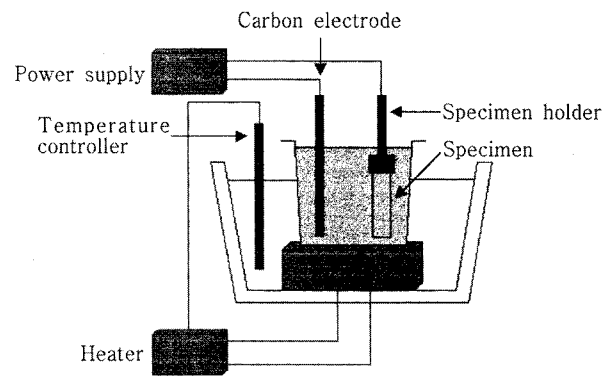
2.1 주조접합재의 사용합금

본 연구에 사용된 주조접합재료는 스테인레스강(KS, STS430: Fe-17wt.%Cr)이며, 발광 분광분석법으로 그 화학조성을 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. STS430은 Fe-Cr 페라이트(ferrite)계 스테인레스강으로 표면에 형성된 내식성 Cr₂O₃ 피막의 존재로 인해 내식성이 우수할 뿐만 아니라 우수한 내열성을 지니고 있어 일반구조용 재료로 널리 쓰이고 있다. 특히 Ni의 함유량이 낮아 가격이 낮으면서도 Ni을 함유한 스테인레스강과 같은 내식성을 가지는 특징을 가지고 있다.

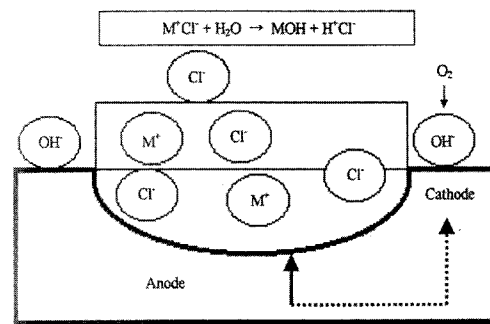
2.2 STS430강의 표면처리

AIDC8(KS)합금과 STS430의 주조 접합성 향상을 위해 STS430의 표면을 거칠게 만드는 표면처리(surface roughening)를 행하였다. 표면처리 실험에 사용된 STS430시편은 시판되고 있는 두께 0.7 mm의 Fe-17wt.%Cr 페라이트계 스테인레스강을 사용 하였다.

STS430의 표면처리를 위해 사용된 화학약품으로는 FeCl₃, NaCl, HCl, CuCl₂ 등을 사용하였으며, 이들 화학약품의 염소 이온이 Cr₂O₃ 필름 아래에 있는 소지금속을 국부적으로 용해시키는 특성을 이용하였다[5-7]. 표면의 국부부식(pitting corrosion)을 위해 FeCl₃, NaCl, HCl, CuCl₂ 등을 증류수에 용해하여 1 M 수용액 상태의 전해액을 제조하였다. 직류전원과 교류전원(10-60 Hz)을 이용하여 직류전해에칭, 교류전해에칭 및 직류/교류 중첩에칭 실험을 행하였다. 전해조는 온도조절이 가능하도록 제작하였으며, 흑연을 전극으로 사용하였다. Fig. 1(a) 및 (b)에는 전해에칭처리 기구와 에칭공정을 나타낸다. 에칭된 STS430시편의 피트 밀도, 깊이, 양상 등은 광학현미경(OM :



(a) Electrochemical etching equipment



(b) Electrochemical etching mechanism

Fig. 1. Schematic diagram of mechanism for electrochemical etching.

BX51M, OLYMPUS, Japan)과 주사전자현미경(SEM : JSM-820, JEOL, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 에칭용액에 따른 STS430강의 표면처리 특성

3.1.1 1 M FeCl₃ 수용액

STS430의 표면처리 결과 35°C 1 M FeCl₃ 수용액에서는 비교적 용해가 용이하였으며, 극간거리 45 mm, 전류량 120 coulomb에서 전류밀도는 100~400 mA/cm²로 변화시키며 실험한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보인 바와 같이 전류밀도가 100 mA/cm²에서는 피트의 생성이 용이하지 않음을 알 수 있었고 또한 생성된 피트도 성장이 활발하지 못하여 고압주조에 의한 주조접합을 용이하게 하는 피트크기 즉 직경 0.2 mm 이상과 피트밀도 30% 이상[1,8]은 크게 미치지 못하는 결과를 나타내었다.

그러나 전류밀도가 증가 할수록 Fig. 2의 (b,c,d)에서 볼 수 있는 바와 같이 주조 접합성을 용이하게 하는 최적의 피트의 형성조건에 가까워짐을 알 수 있었고 400 mA/cm²에서는 피트

Table 1. Chemical composition of STS430 alloy

Material	Cr	C	Mn	Si	P	S	Fe
STS430	17.35	0.05	0.08	0.73	0.001	0.002	Bal.

(wt.%).

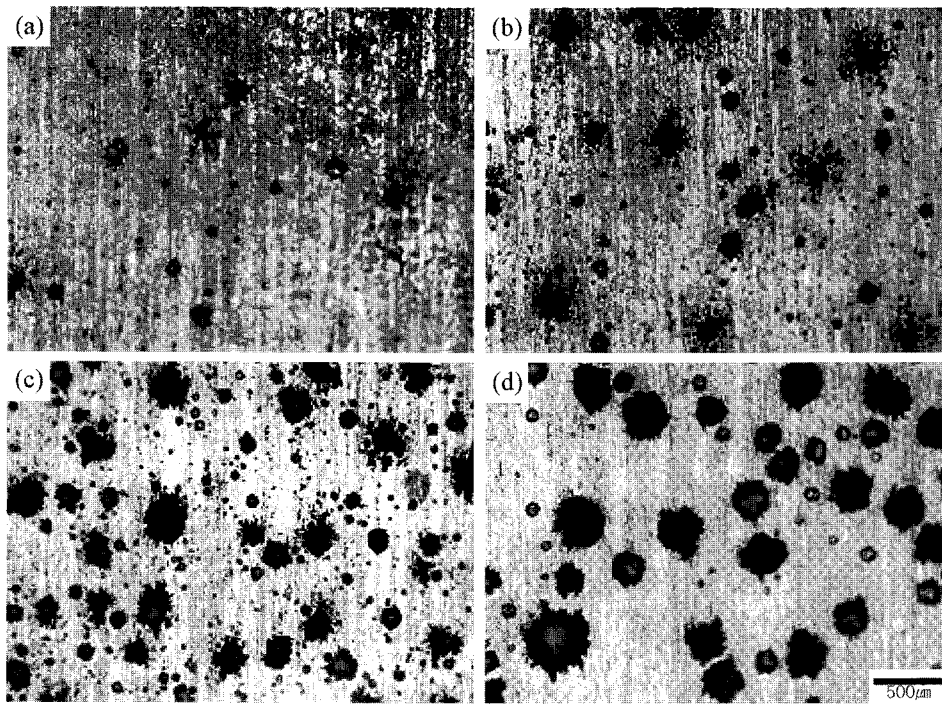


Fig. 2. Morphology of pits formed on the surface STS430 by DC etching in 1 M FeCl₃ solution at 308 K and 120coulomb/cm². (a) 100 mA/cm² (b) 200 mA/cm² (c) 300 mA/cm² (d) 400 mA/cm²

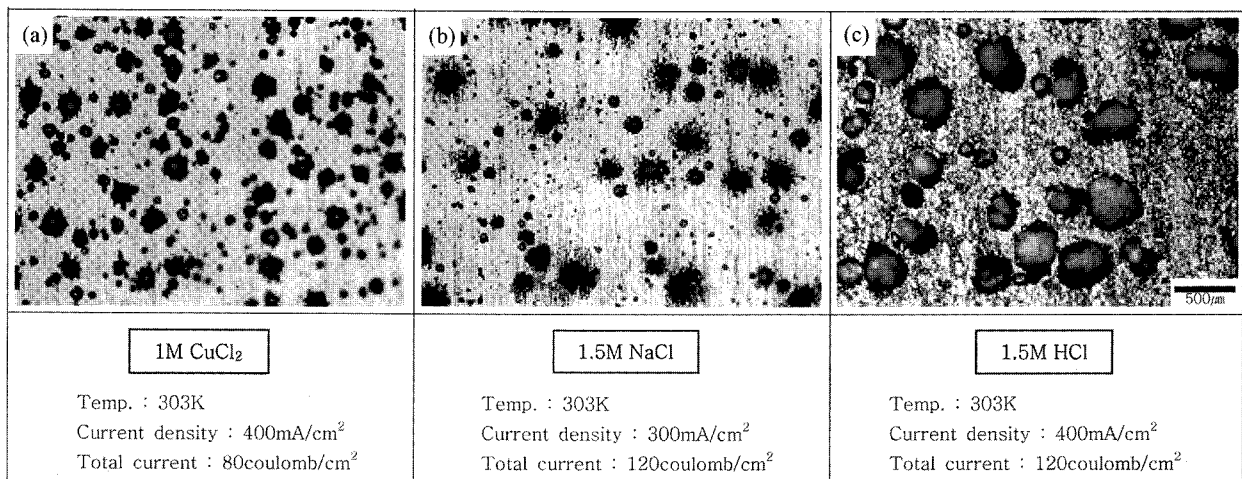


Fig. 3. Morphology of pits formed on the surface of STS430 by DC etching in CuCl₂, 1.5 M NaCl and 1.5 M HCl solution at 303 K.

크기가 평균직경이 0.25 mm, 피트밀도는 35%로 매우 이상적인 피트를 얻을 수 있었다.

3.1.2 1 M CuCl₂, 1.5 M NaCl 및 1.5 M HCl 수용액

수용액을 다양화하여 용액에 따른 피트형성을 관찰하기 위하여 1 M CuCl₂, 1.5 M NaCl 및 1.5 M HCl 수용액으로 실험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 1 M CuCl₂ 수용액의 경우 실험 중 STS430 시편표면에 Cu의 과다한 농축현상으로 피트형성이 용이하지 않았으며, Fig. 3의 (a)에서와 같이 평균직경이 0.15 mm 이하인 미세한 피트만 발생하였다.

Fig. 3(b)의 1.5 M NaCl의 경우 역시 피트의 형성이 어려

웠고 30°C 수용액, 300 mA/cm², 120 coulomb에서 피트밀도 15%, 평균직경이 0.15 mm로 비교적 작았다. 그리고 1.5 M HCl 수용액의 경우에도 300 mA/cm² 이하에서는 피트가 형성되지 않으면서 전체적인 표면이 미세하게 용해되는 현상을 발견할 수 있었으며 전류밀도가 400 mA/cm² 이상에서 피트밀도와 크기가 급격하게 증가하는 현상을 나타내었다.

3.1.3 1 M FeCl₃+1 M NaCl 수용액

1 M FeCl₃+1 M NaCl 혼합 수용액에서의 전류밀도에 따른 피트형성을 관찰하기 위하여 전류밀도가 높은 경우와 낮은 경우를 실험한 결과 Fig. 4에서 보인 바와 같다. 전류밀도가 높

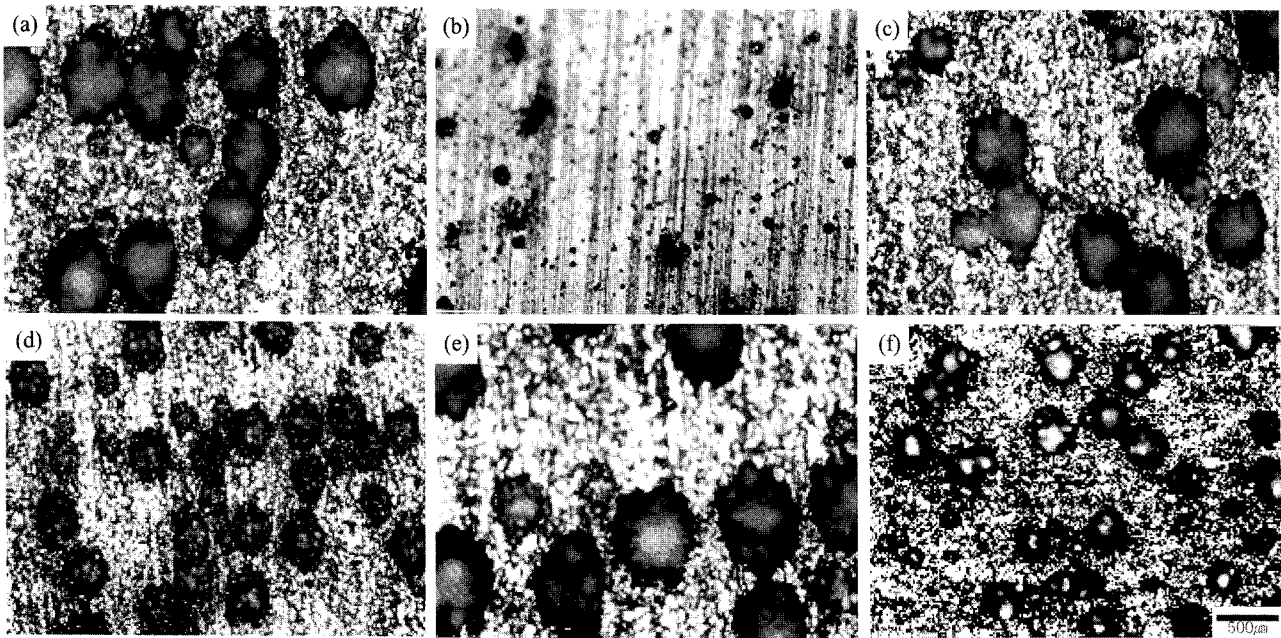


Fig. 4. Morphology of pits formed on the surface of STS430 by DC etching in 1 M FeCl_3 +1 M NaCl solution at high and low current densities. (a) 20 mA/cm², 30 coulomb/cm² (b) 100 mA/cm², 120 coulomb/cm² (c) 30 mA/cm², 50 coulomb/cm² (d) 300 mA/cm², 100 coulomb/cm² (e) 40 mA/cm², 80 coulomb/cm² (f) 400 mA/cm², 100 coulomb/cm²

은 경우 즉, 100 mA/cm² 이상에서는 Fig. 4의 (b,d,f)에서 보는 바와 같이 피트의 크기와 밀도가 1 M FeCl_3 수용액에서 etching 경우와 유사하다. 그러나 전류밀도가 낮은 경우 즉, 20~50 mA/cm²의 범위에서 형성된 피트는 Fig. 4의 (a,c,e)에서 보는 바와 같이 피트의 크기가 0.4 mm, 밀도가 30%로 비교적 크고 밀도가 높았다.

이상의 실험결과와 CuCl_2 , NaCl 및 HCl 수용액에서는 피트의 생성이 용이하지 않음을 알 수 있으며, 특히 HCl 수용액에서 전류밀도가 낮으면 시편이 균일하게 용해되었고, NaCl 수용액에서는 피트의 생성이 전반적으로 어려웠으며, CuCl_2 수용액에서는 수용액 중의 Cu 이온이 시편에 다량 석출하여 피트 생성 후 석출된 Cu의 제거가 어려운 문제가 발생하였다. 그러나 이들 수용액에서도 피트생성은 가능하며, 피트생성 최적조건을 구하는 것은 아주 중요한 문제로 지속적인 연구의 필요성이 있다.

1 M FeCl_3 수용액과 1 M FeCl_3 +1 M NaCl 수용액을 사용하여 직류 전해한 결과 전류밀도가 100 mA/cm² 이상으로 전류밀도가 클 경우에는 전류밀도가 커질수록 피트 생성은 용이하였고 생성된 피트의 크기와 밀도가 증가하였다. 전류밀도가 100 mA/cm² 부근에서는 피트의 생성이 가장 어려웠고 전류밀도가 20~80 mA/cm²로 낮은 경우에는 전류밀도가 높은 경우보다 생성된 피트의 크기가 크고 밀도가 높았다.

3.2 첨가제에 따른 STS430강의 표면처리 특성

에칭용액 선정 실험결과에 따르면 1 M FeCl_3 +1 M NaCl 수용액에서 낮은 전류밀도 즉, 100 mA/cm² 이하로 직류 전해할 경우에 비교적 크기가 크고 밀도가 높은 피트를 형성할 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 혼합염 수용액을 전해액

으로 사용하여 피트형성 활성제를 미량 첨가하여 첨가제가 피트형성에 미치는 영향을 조사하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5의 첨가제를 첨가하지 않은 (e)의 평균직경 0.4 mm, 밀도 30%의 피트형성을 기준으로 첨가제에 따른 피트형성의 영향을 관찰한 결과, Fig. 5에서 보인 바와 같이 HCl을 첨가한 (a)의 경우 피트크기는 별 영향이 없었으나 밀도는 35%로 증가되어 피트의 생성이 비교적 용이함을 알 수 있었고, (b)의 HNO_3 첨가의 경우는 피트의 크기와 밀도 모두 영향이 없었으며, (c)의 CuCl_2 첨가의 경우는 피트의 크기는 영향이 없었으나 밀도는 34%로 다소 증가되는 양상을 나타내었다. 또한 혼합산으로 HCl과 HNO_3 를 첨가한 (d)의 경우 피트크기는 변화가 없었으나 밀도가 32%로 약간 증가되는 경향을 보였고, (e)의 CuCl_2 와 HCl의 첨가 시에는 피트크기가 0.45 mm로 커지고 밀도도 40%로 높아져 피트의 형성이 가장 용이하였으며, (f)의 CuCl_2 와 HNO_3 첨가의 경우에는 피트크기는 0.45 mm로 커졌으나 밀도는 30%로 변화가 없어 상대적으로 피트의 생성은 용이하지 않고 성장은 용이함을 알 수 있었다.

이상과 같은 실험의 결과로 고찰해 볼 때, 주조접합을 용이하게 하는 최소의 피트크기 즉 직경 0.2 mm 이상과 피트밀도 30%이상[1,8]의 피트 형성조건은 첨가제를 넣지 않아도 가능하였으나, 피트의 생성과 성장을 촉진시키기 위하여 첨가제를 넣어 실험한 본 실험에서는 1 M FeCl_3 수용액에 미량의 CuCl_2 +HCl 혼합염을 첨가한 수용액을 전해액으로 사용하여 전류밀도 80 mA/cm², 전류량 150 coulomb/cm²에서 피트크기 0.45 mm, 밀도 40%로 피트 형성이 가장 용이 하였다.

이는 1 M FeCl_3 수용액에 피트 형성 활성제로 첨가된 CuCl_2 +HCl 혼합염이 pH를 낮추어 STS430과 수용액 사이의

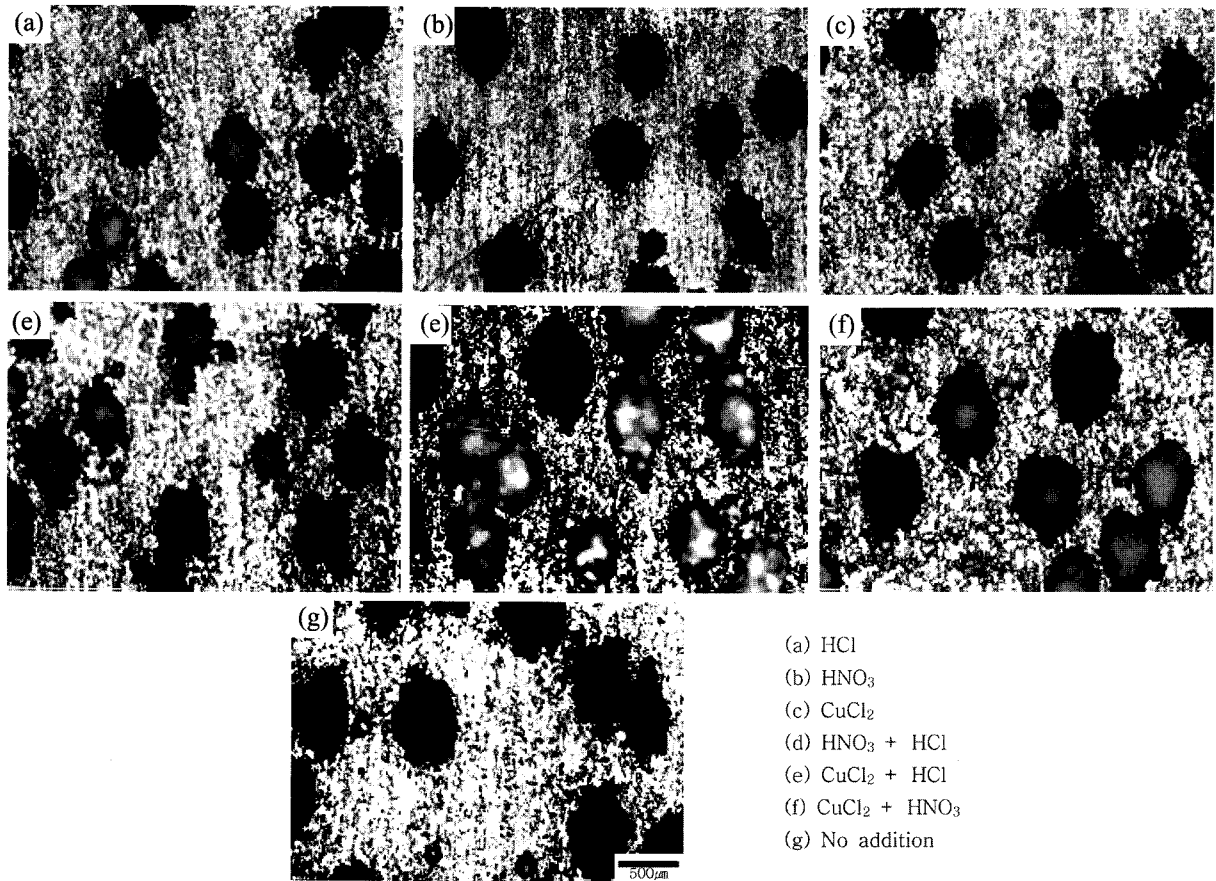


Fig. 5. Effect of small amount of various additives on 1 M FeCl₃ electrolyte on the pit formation of STS430 (30 mA/cm², 50 coulomb/cm² and 308 K)

전위차를 높여주고 STS430의 용해도를 높여줌으로써 피트의 생성과 성장을 촉진하는 결과로 볼 수 있다.

3.3 직류 및 중첩전해에 따른 STS430강의 표면처리 특성

STS430과 AIDC8의 접합강도 향상을 위해 80 mA/cm², 150 coulomb/cm² 전기량으로 직류전해한 후 교류전해를 실시하였다. 역시 전해액으로는 1 M FeCl₃에 CuCl₂와 HCl의 혼합염을 첨가한 수용액을 사용하였으며, 교류주파수, 전류밀도 및 교류전기량이 STS430에 형성된 피트 내부를 어떻게 변화시키는지에 대해 알아보았다.

3.3.1 교류주파수의 영향

STS430을 직류전해하여 표면에 충분한 밀도의 피트를 생성시킨 후 전류밀도 200 mA/cm², 전기량 400 coulomb/cm²로 주파수를 변화시켜 교류로 중첩 전해하여 Fig. 6에 STS430 표면에 형성된 피트의 형상을 평면부와 단면부로 나누어 나타내었다. 그 결과 Fig. 6의 (a)와 (b)의 주파수 20 Hz과 40 Hz에서는 피트의 크기 및 깊이는 중첩전해 전과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았으나 (c)의 60 Hz의 주파수에서는 피트의 크기는 0.4 mm에서 0.45 mm로 피트깊이는 0.2 mm에서 0.4 mm로 성장하면서 교류 주파수의 영향은 피트의 크기 보다는 피트의 깊이를 깊게 하고 표면 거칠기를 증가시키는 결과를 얻을 수 있었다.

3.3.2 교류전기량의 영향

STS430을 직류전해한 후 전류밀도 200 mA/cm², 교류주파수 60 Hz로 하여 전기량을 200~400 coulomb/cm²범위로 변화시켜 교류로 중첩 전해하였다. Fig. 7에서 보인 바와 같이 STS430표면에 형성된 피트의 크기, 깊이 및 밀도는 전기량의 변화에 의해 크게 변화되지는 않았지만 내부 형상은 전기량이 많아질수록 거칠기가 다소 증가하는 경향을 보였다.

3.3.3 교류전류밀도의 영향

STS430을 직류전해한 후 전기량을 400 coulomb/cm²로 하고 주파수를 60 Hz로 하여 전류밀도를 변화시켜 교류로 중첩 전해실험을 행하였다. Fig. 8에서와 같이 교류 전류밀도의 변화로 피트의 크기, 깊이 및 밀도에는 큰 영향을 주지는 않았지만 피트의 내부형상은 전류밀도가 증가 할수록 거칠기가 증가하는 것을 관찰 할 수 있었고, 교류 전류밀도 200 mA/cm² 이상 일 때 가장 거친 것으로 관찰되었다.

이상과 같은 실험결과 구조접합을 가장 용이하게 하는 STS430강의 표면처리 조건으로는 주 전해액으로 1 M FeCl₃를 사용하고 피트의 형성을 촉진시키는 첨가제로 CuCl₂와 HCl의 혼합염을 미량 첨가한 수용액으로 사용하는 것이 가장 바람직하고, 이 수용액을 전해액으로 사용할 경우 수용액 온도 35°C, 전류밀도 80 mA/cm², 150 coulomb/cm²의 전기량으로 직류전해한 후, 다시 200 mA/cm², 400 coulomb/cm² 전기량으로 주

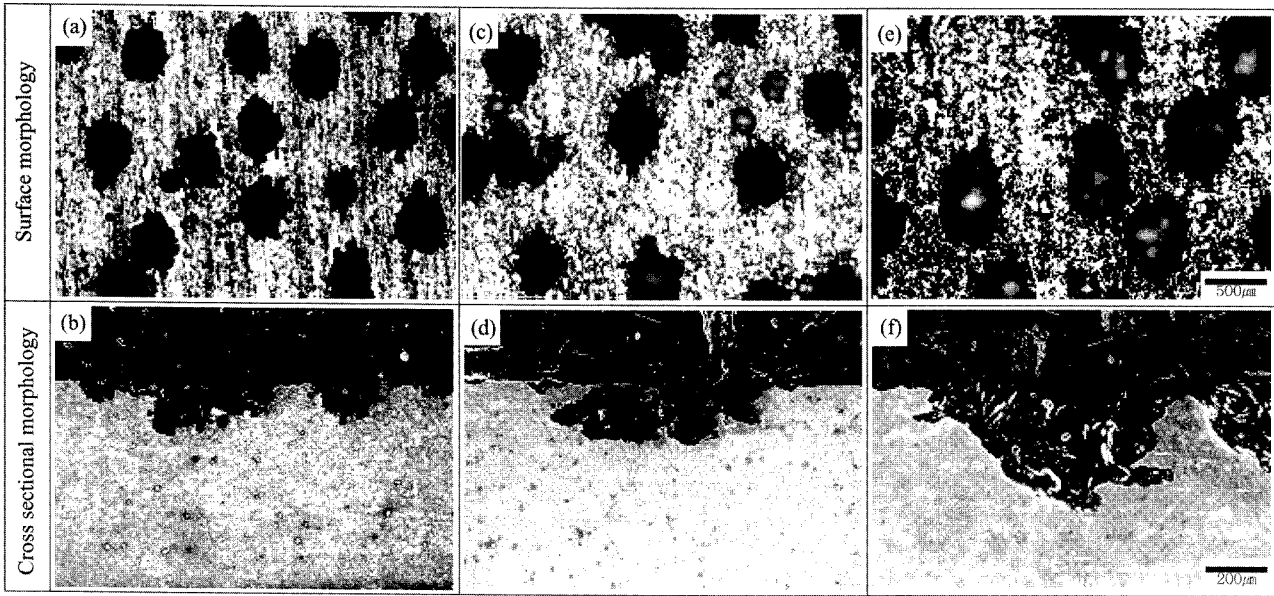


Fig. 6. Surface and cross section morphology of pits formed on STS430 by combined DC and AC etching in 1 M FeCl₃ solution at various AC frequency (200 mA/cm², 400 coulomb/cm² and 308 K). (a),(b): 20 Hz (c),(d): 40 Hz (e),(f): 60 Hz

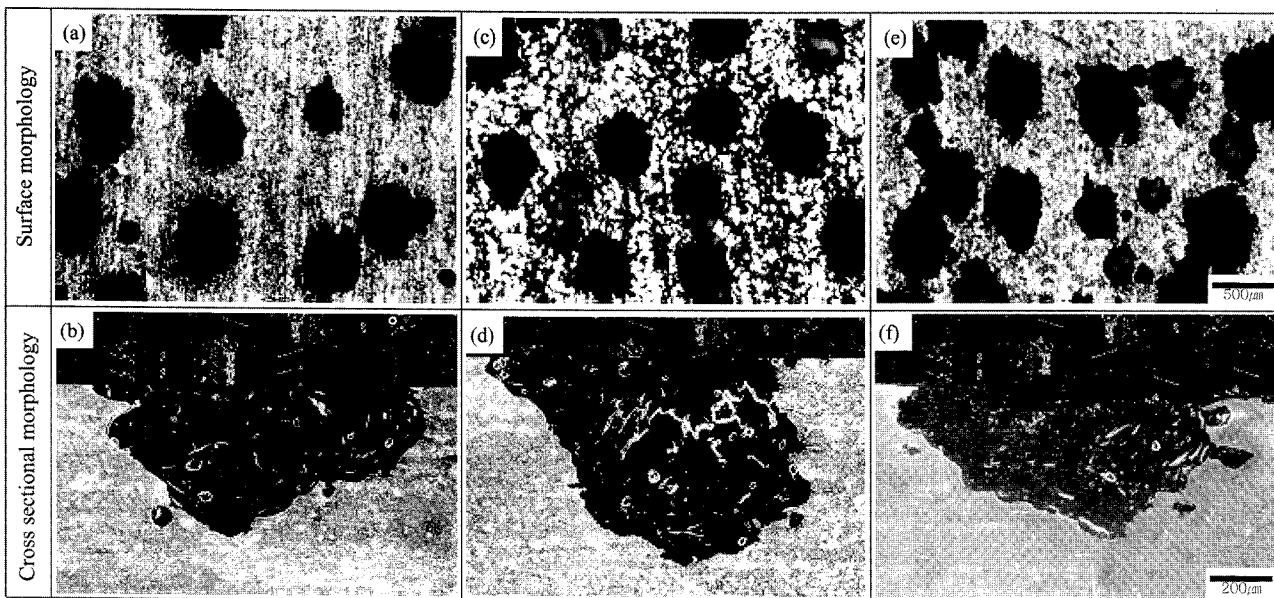


Fig. 7. Surface and cross section morphology of pits formed on STS430 by combined DC and AC etching in 1 M FeCl₃ solution at various total current (200 mA/cm², 60 Hz and 308 K). (a),(b): 200 coulomb/cm² (c),(d): 300 coulomb/cm² (e),(f): 400 coulomb/cm²

과수 60 Hz로 교류 전해하는 이른바 직류와 교류로 중첩 전해할 경우가 최적 전해조건으로 밀도가 높고 피트의 생성이 용이하며, 피트의 내부 깊이와 거칠기가 우수하여 주조접합 시 접합을 용이하게 함은 물론 높은 접합강성을 부여할 수 있으리라 생각된다.

4. 결 론

Al합금과 Fe-17wt.%Cr(STS430)강의 이중 주조접합재의 개

발을 위하여 Fe-17wt.%Cr강의 표면처리 특성을 연구 개발한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) STS430강을 염소이온이 함유된 염화물 수용액 중에서 전해에칭을 하면 Fe-17wt.%Cr강 표면에 형성된 내식성 박막인 Cr₂O₃ 피막의 결함을 통하여 피막 아래의 소지금속을 국부적으로 용해시키는 공식(pitting corrosion)이 일어남을 관찰할 수 있었다.

2) 에칭용액에 따른 실험결과, 1 M FeCl₃ 수용액과 1 M FeCl₃+1 M NaCl 수용액을 사용하여 직류 전해한 결과 전류밀

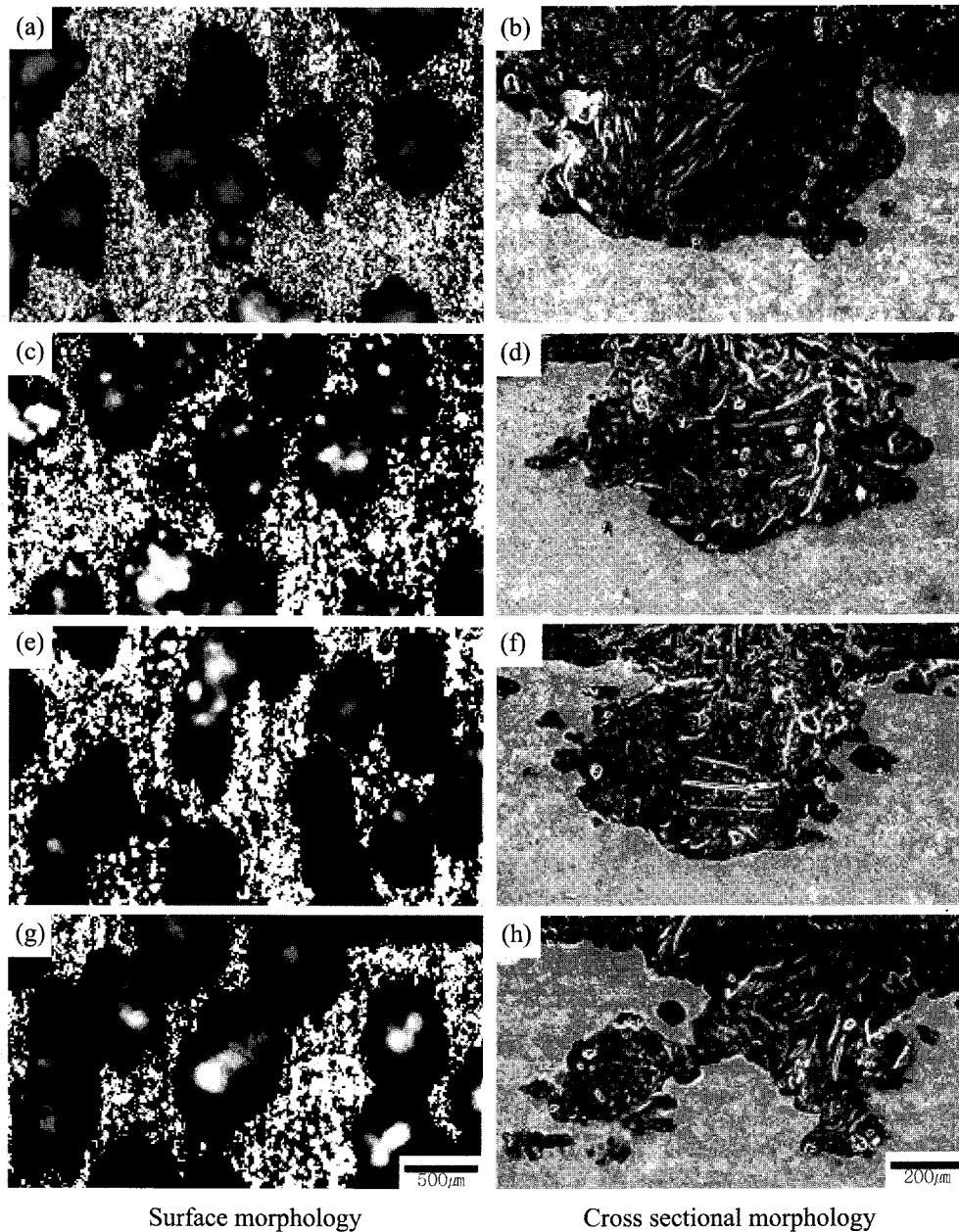


Fig. 8. Surface and cross section morphology of pits formed on STS430 by combined DC and AC etching in 1 M FeCl₃ solution at various current density (400 coulomb/cm², 60 Hz and 308 K). (a),(b): 100 mA/cm² (c),(d): 200 mA/cm² (e),(f): 300 mA/cm² (g),(h): 400 mA/cm²

도가 100 mA/cm² 이상의 경우 전류밀도가 커질수록 피트 생성은 용이하였고, 생성된 피트의 크기와 밀도도 증가하였으며, 전류밀도가 100 mA/cm² 부근에서는 피트의 생성이 가장 어려웠고 전류밀도가 20~80 mA/cm²으로 낮은 경우에는 전류밀도가 높은 경우보다 생성된 피트의 크기가 커지고 밀도도 높아짐을 알 수 있었다.

3) 1M FeCl₃ 수용액의 pH를 낮추어 STS430강과 수용액 사이의 전위차를 높여 피트의 생성을 촉진시키고 STS430강의 용해도를 높이는 첨가제로는 혼합염 CuCl₂+HCl가 가장 효과적이며, 특히 전류밀도 80 mA/cm², 전류량 150 coulomb/cm²에서 피트의 크기가 크고 밀도가 높은 피트를 얻을 수 있

었다.

4) Al/Stainless강의 주조 접합강도 향상을 위하여 3)의 조건으로 직류 전해한 후 다시 교류 전해하는 중첩전해 결과, 교류전해의 최적조건으로는 수용액의 온도 35°C, 전류밀도 200 mA/cm², 400 coulomb/cm² 전기량 및 60 Hz의 교류주파수로 중첩 전해하는 경우가 피트의 내부 깊이와 거칠기가 가장 우수한 결과를 나타내었다.

참고 문헌

[1] Y. H. Kim, E. S. Kim, H. S. Kim and K. H. Lee : J. of KFS,

- “A Study on the Characteristics of Cast Bonding Aluminium Alloy and Fe-17wt%Cr Steel with Vacuum Die Casting” 19 (1999) 410-418.
- [2] H. I. Park and S. Y. Lee : J. of KFS, “A Study on the Direct Synthesis of TaC by Cast-bonding”, 17 (1997) 371-378.
- [3] H. R. Yoo, C. M. Chang and N. D. Cho : J. of KFS, “A Study on Cast-in Insert of Gray Iron and Austenitic Stainless Steel Pipe using Thermal Spraying and Pressurized Argon Gas”, 16 (1996) 252-260.
- [4] H. I. Park, C. U. Kim, B. Y. Huh, S. Y. Lee and C. G. Kim : J. of KFS, “The Formation Mechanism of Interfacial Reaction Layer in Cast-bonded Cast iron / W wire and Its Structure”, 15 (1995) 272-282.
- [5] A. John. Sedriks : “Corrosion of Stainless steels”, (1989) p.63.
- [6] F. B. Pickening : “The metallurgical evolution of stainless steels”, (1990) p.442.
- [7] M. C. Reboul et al : “Corrosion”, (1984) p.366.
- [8] E. S. Kim et al : “The manufacturing method for dissimilar composite metal by using HPDC”, (1999), Patent No. 0215504.