

Type 409 스테인리스강의 입계부식 민감성을 평가하기 위한 에칭시험법 개발

조 미 자
포항전문대학 금속과

Development of an Etching Method for Determining Susceptibility of Type 409 Stainless Steel to Intergranular Attack

Mee Cha Cho

Department of Metallurgy Pohang Junior College,

55 Chuckchon-dong Hunghae-up Yongil-gun Kyong Buk 795-940, Korea

Type 409 stainless steel has an engineering importance in various industries, however, no suitable etching technique has been developed for determining the intergranular corrosion or sensitization by welding or heat treatment. The existing etching techniques recommended for ferritic stainless steels are good for high Cr-containing ferritic stainless steels (such as Type 430), but not for Type 409 stainless steel because of severe matrix corrosion due to its low Cr content. In this investigation, a new etching technique was attempted mainly to optimize contents of sulfuric acid and copper sulfate, and etching time. The optimum etching condition for Type 409 stainless steel was proved to be etching in a boiling 30% (by volume) sulfuric acid solution plus 160g/liter of copper sulfate for 4 minutes. Requirement of simple test equipment for this etching technique can be of another advantage to utilize easily in various industries for quality control. This etching technique can be substituted for the oxalic acid etch test for Type 409 stainless steel.

1. 서 론

최근에 여러 부식 환경에서 탁월한 내식성을 갖는 페라이트 스테인리스강이 개발되어 자동차 부품용 소재로 응용되고 있다. 비기계 부품은 흡입된 공기와 연료 속에 함유된 불순물 및 촉매사용에 의한 연소가스, 정화과정에서 유도되는 온도 상승 등으로 응축수에 의한 심각한 부식현상을 동반하므로 기존의 알루미늄강에서 Type 410L이나 Type 409 등의 페라이트 스테인리스강으로 대체되고 있는데, 페

라이트계가 오스테나이트계와는 달리 Ni을 함유하지 않기 때문에 가격이 저렴하고¹⁾ 예민화 온도가 높으며, 사용 온도 구간에서 내SCC성과 피로강도 등이 양호하기 때문이다. Type 409 스테인리스강은 일반 구조용으로 사용되며, 절모양보다는 기계적 성질, 내식성이 문제가 되는 자동차 배기계 구조용에 적합하여 주로 건축용, 자동차 연소기 등에 사용된다.²⁾ 자동차 배기계 소재로서 스테인리스강의 사용은 세계적인 추세이며 앞으로 더욱 증가할 것이다. 국내 자동차 업계에서도 이러한 추세에 부응할 것

으로 예상되며, 전량 수입에 의존하던 Type 409 스테인리스강을, 최근에 우리나라에서 자체 개발하여 생산되고 있으며 그 생산량이 증가 일로에 있다. 스테인리스강은 고유의 Cr계 보호피막 형성으로 내식성이 매우 우수하지만, 특수한 조건의 금속과 부식환경에서 입계부식이 문제가 되고 있다. 특히 건축구조물이나 강관 등의 제조과정중 용접과 같은 가열처리에 의해 영향을 받은 열영향부(Heat Affected Zone)가 부식분위기에 노출될 때 일어나는 예민화(Sensitization)에 의한 입계부식이 흔히 나타난다.³⁾ 입계의 부식 감수성을 설명하기 위해 제안된 기구로는 입계탄화물 부근의 Cr 결핍이론(Chromium depletion theory), 입계에 있는 탄화물 부근 금속의 Galvanic 부식, 입계에 용질 원자의 편석 및 입계에서의 격자 변형 증가 등이 있다.⁴⁾ Bain,⁵⁾ Bond,⁶⁾ D. H. Kah⁴⁾ 등에 의해 오스테나이트강의 유해한 열처리로 인한 Cr 결핍설이 처음 제안되었고, 예민화된 Type 430 스테인리스강의 입계부식 기구가 Cr 결핍기구에 의한 것임을 강력히 뒷받침해주는 결과를 얻은 바 있다. 즉 Cr 탄화물($M_{23}C_6$)의 입계석출시에 동반되어 발생하는 Cr 결핍의 영향으로 입계부식 예민화가 나타나는 것으로 널리 알려져 있다. 그리고 페라이트 스테인리스강의 입계부식에 C외에 N, Mn, P 등도 유해한 것은 주지의 사실이다.⁵⁾ 이들 원소들의 페라이트중의 고용도는 오스테나이트중의 고용도보다 대단히 적고, 특히 1000°C이하에서 급격히 감소하므로 C, N이 각각 0.01% 함유되어도 입계부식 감수성이 나타나게 된다.⁷⁾ 이와같이 저C, 저N 페라이트 스테인리스강의 입계부식 현상도 Cr 결핍설로 설명이 가능하다. 입계에 있는 석출물이 부식하는 것이 아니고, 석출물 부근의 조성이 변화하기 때문에 입계부식이 일어나는 것이다. 그런데, C, N량이 대단히 적을때는 입계표면의 크롬만으로 탄화물이 석출되므로, 크롬 결핍층은 입계에 형성된다는 보고도 있다.⁸⁾ 페라이트 스테인리스강은 500~800°C 범위에서 예민화되는 오스테나이트 스테인리스강과는 달리 850°C이상으로 부터 냉각될 때 예민화가 나타나기 쉽다.

스테인리스강의 입계부식 민감성 평가방법이 ASTM A 262-85,⁹⁾ ASTM A 763-85¹⁰⁾에 각각 오스테나이트계 및 페라이트계에 적용할 것을 권장하고 있다. 그러나 화학적 에칭시험에 관하여서는 오스테나이트계와 동일한 조건으로 평가하도록 되어 있어 사실상 페라이트계에 적합한 화학에칭 방법이 ASTM A 763 규격에 포함되어 있지 않다. 전기화학적 에칭시험인 옥살산 에칭시험은 Type 304, 316L, 317L, 321 및 347 스테인리스강에 대하여 열처리하거나 용접한 후의 입계부식 감수성(Susceptibility)을 빠르게 검사할 수 있는 방법이다.⁹⁾ 이 에칭시험은 스테인리스강의 입계부식 감수성을 조사하는데 다른 침지시험에 비하여 시험시간이 짧고(90초) 시험방법이 간단하기 때문에 상당히 매력적이다. 그러나 이 옥살산 에칭시험은 원래 18Cr-8Ni Type의 오스테나이트 스테인리스강에 적용하기 위하여 개발된 것이므로 소둔 열처리나 용접한 후의 부식성과 금속조직이 상이한 페라이트계에 적용하는 것은 적합하지 않다. 페라이트계는 강 제조시에 행하는 정상적인 열처리에 의해서도 Cr 탄화물이나 질화물이 생성되기 때문이다. 1981년에 J. B. Lee에 의해 Type 430 스테인리스강에 적용할 수 있는 화학적 에칭방법이 개발되었고 그 후 Type 430Ti, 430Nb, 434, 444 및 446 등 페라이트계 스테인리스강과 일부 오스테나이트계에도 이용할 수 있음을 확인한 바 있다.^{11),12)} 그러나 Type 430 스테인리스강에 적용 가능한 이 에칭법은 합금중 Cr함량이 낮은 Type 409 스테인리스강에 그대로 적용하게 되면 에칭 부식력이 강하여 일반적인 입계부식, 예민화에 의한 입계부식 및 입내부식의 구별이 되지 않은채 부식이 진행되는 단점이 있다.

본 연구에서는 열처리나 용접한 후 예민화된 Type 409 스테인리스강의 입계부식 감수성을 간편하게 평가할 수 있는 새로운 화학적 에칭방법을 연구하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시험편 제작

본 연구에 이용한 Type 409 스테인리스강의 화학 조성이 Table 1과 같다. 저Cr 페라이트 스테인리스강중에 C, N을 고정하기 위한 안정화원소(Ti, Nb) 첨가량은 C, N이 높은 경우 Ti/C, Nb/C가 10 이상으로 알려져 있고, C와 N함량이 낮은 경우, 오스테나이트계에서는 $Ti/C \geq 10$ $Nb/C \geq 15 \sim 20$, 페라이트계에서는 $Ti+Nb/(C+N) \geq 16 \sim 20$ 이 필요하다. 그러나 특히 C, N이 낮으면 소량의 안정화원소 첨가로 안정화될 수 있다. 페라이트 스테인리스강에 대하여 Dundas와 Bond는 C, N을 완전히 안정화시키는데 필요한 Ti, Nb의 양을 결정하기 위하여 식(1)을 제안하였다.¹³⁾

$$Ti \text{ and/or } Nb = 0.20 + 4(C+N) \quad (1)$$

시료 A 및 B의 이론적인 Ti+Nb 필요량은 0.328 이나 실제 함유량은 각각 0.434, 0.180으로서 시료 A가 B보다 더 안정화된 상태이다.

두께 1.5mm 냉연판을 이용하여 표면적이 $3 \sim 5\text{cm}^2$ 되도록 절단하였다. 열처리는 관상로를 이용하였으며, 열처리조건은 Table 2와 같다. 열처리하는 동안 재료의 산화방지를 위하여, 고순도(99.9999%) 수소 가스 분위기에서 열처리하였다. 모든 시험편을 950°C 에서 1시간 가열 유지하여 로닝(Solution annealing treatment)하므로서 이전의 열적 이력(Thermal history)을 제거하였다. Table 2에서 열처리 1은 1093°C 로 가열한 후 공냉시키는 것으로서, 가열 유지하는 동안 Cr 탄화물이 기지금속 내로 용해된다. 공냉은 침입원소들의 확산시간을 보다 많이 제공하게 되어, 결정입계를 따라 Cr 탄화물의

석출을 방지할 만큼 충분히 빠르지 못하다. 즉 침입원소(C, N)들의 입계로의 확산이 빨라져 입계와 그 주위에 있는 Cr과 반응하여 Cr탄화물이 석출되지만, Cr의 입계로의 확산이 느려 결국 입계 주위에 Cr 결핍영역이 나타나는 예민화 조직을 얻게 된다.¹²⁾ 열처리 2를 행한 시험편은 1093°C 에서 가열 유지한 후 수냉(Water quench)한 것으로 C, N과 같은 침입원소의 농도가 대단히 적지 않는 한 페라이트 스테인리스강의 예민화를 방지할 수 없다. 페라이트 기지금속 내에서 C와 N의 빠른 확산속도와 페라이트 기지금속중 침입원소의 고용도(Solubility)가 낮기 때문에 역시 예민화는 기대되거나 열처리 1을 행한 만큼 심하지는 않다. 열처리 3에 의해 TIG(Tungsten Inert Gas) 용접하여 그 열영향부를 얻었다. TIG 용접은 160A의 전류와 65cm/min 속도로 Heat Input Rate 1.48KJ/cm인 조건으로 하였다. 열처리 4는 열처리를 하지 않은 상태(As received)이다. 열처리한 시험편의 표면은 사포를 이용하여 1200번까지 연마하였다.

2.2 예칭시험

예칭시험은 비등의 황산용액을 모용액으로 하여, 스테인리스강의 황산화 용해를 방지하기 위하여 황

Table 2. Heat treatment conditions utilized for Type 409 stainless steel

Heat Treatment Number	Conditions of Heat Treatment
1	$1093^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$, Air cool(Sensitizing)
2	$1093^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$, Water quanch (Slightly sensitizing)
3	TIG Weld(Welding-induced sensitizing)
4	As received

Table 1. Chemical compositions of Type 409 stainless steel

Alloy	Composition(Weight %)								
	C	N	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Nb
A	0.02	0.012	0.5	0.41	0.019	0.004	11.3	0.215	0.22
B	0.02	0.012	0.6	0.52	0.023	0.009	11.2	0.180	-

산구리($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)를 첨가하였다. 황산구리 결정을 용해하기 위하여 냉각기(Allihn condenser : Drip Tip 2.5cm Long)을 장착한 1000ml의 Erlenmeyer 플라스크를 이용하여 용액을 끓였다. 황산구리 용액이 완전히 용해되었을 때 증발에 의한 손실을 줄이기 위하여 용액의 온도를 비등점 직하로 유지시켰다. 에칭시험은 배기장치 아래에서 100ml 비이커에 새로운 용액을 약 40ml 정도 옮겨 넣고 끓는 상태에서 행하였다. ASTM A 763-85의 침지시험 규격¹⁰⁾에 의하면 시험편의 표면적에 대하여 최소 $50\text{ml}/\text{in}^2$ ($8\text{ml}/\text{cm}^2$) 용적이 필요한 것으로 되어 있기 때문에, 40ml 용량은 수분동안의 에칭시험을 하기에 충분한 양이다. 에칭시험중의 증발을 줄이기 위하여 증발 접시를 덮고 시험하였다. 용액중의 황산 농도는 용적으로 20%, 30%, 40%, 50%를 택하였다. 황산구리의 농도는 1000ml당 80g, 100g, 120g, 140g, 160g, 180g, 200g으로 변화시켰다. 에칭시간은 2분에서 10분까지 변화시키면서 조사하였다. 에칭시험한 후 물과 아세톤으로 세척하여 건조시켰다. 입계부식 조직을 광학현미경으로 관찰하였다. 불충분한 세척은 때때로 입계를 따라 유황이 침전되기도 한다. 시험편이 비이커에 닿는 것을 방지하기 위하여 초자로 만든 걸이(Cradle)를 사용하였다. 그리고 J. B. Lee에 의해 개발된, Type 430 스테인리스강의 입계부식 에칭시험법¹¹⁾을 본 연구의 시험편에 적용시켜서 에칭조직을 비교하였다. J. B. Lee의 에칭은 60% 황산+120g/l 황산구리 용액에서 5분동안 에칭하는 것으로 되어 있다. 또한 ASTM A 763-Practice Y 규격으로 침지시험하여 입계부식 조직을 비교 관찰하였다. ASTM A 763-Practice Y에 의한 시험조건은 구리+120g/l 황산구리+50% 황산 비등용액중에서 96시간 이상 침지하는 것이다. 본 실험의 재현성을 보장하기 위하여 동일조건으로 적어도 3회이상 에칭시험을 하였다.

3. 시험결과 및 고찰

우선 에민화된 Type 430 스테인리스강의 입계부

식 감수성을 측정하기 위하여 J. B. Lee에 의해 개발된 에칭방법을 Type 409 스테인리스강에 적용시킬 수 있는지의 여부를 알기 위하여 에칭시험을 하였다. 열처리 1에 의해 에민화된 Type 430 스테인리스강과 Type 409 스테인리스강을 J. B. Lee가 개발한 방법으로 에칭시험하여 얻어진 부식 조직을 Fig. 1에서 비교하였다. Fig. 1(a)의 Type 430 스테인리스강의 경우에는 결정입계가 선명한 Ditch 조직으로 나타나서 에민화되었음을 보여주고 있다. 반면에, (b), (c)에서 처럼 동일조건으로 에민화시킨 Type 409 스테인리스강에 대하여 J. B. Lee의 에칭법을 적용시킨 결과, 결정입계가 나타나지 않았을 뿐만아니라 전면부식이 심하게 일어났다. 시료 A를 TIG 용접하여 발생한 열영향부에 대하여서도 J. B. Lee가 개발한 방법으로 에칭시켜 본 결과, Fig. 1(d)에 나타난 바와 같이 전면부식이 발생하였다. 따라서 같은 페라이트계이지만, Type 430 스테인리스강에 적용할 수 있는 에칭법을 Type 409 스테인리스강에 적용시켜 입계부식 감수성을 측정하는 것은 부적당하였다. 이것은 Type 430의 Cr 함량이 16.9%이나 Type 409 스테인리스강은 11.3% 정도로 낮아서 기지금속의 부식저항이 감소되기 때문이다.

페라이트 스테인리스강은 정상적인 비에민화 열처리에 의해서도 Cr 탄화물이 석출된다. ASTM A 763-85에 규격화되어 있는 옥살산 시험(Oxalic acid test)을 행하면 Cr 탄화물 석출물과 Cr 결핍영역은 동시에 용해시켜 Cr 탄화물도 침식을 당하므로 에민화에 의한 입계부식을 구별하기 곤란하다. 정상적인 비에민화 열처리시, Cr 탄화물을 석출하지 않는 오스테나이트 스테인리스강이나 극저 침입 원소를 함유하는 페라이트계에만 옥살산 시험이 적용될 수 있으며, J. B. Lee가 이를 확인하였다.¹²⁾

에민화된 Type 409 스테인리스강의 입계부식 정도에 미치는 에칭시간, 황산과 황산구리 농도의 영향을 조사하여 최적의 에칭조건 설정을 위하여, 시료 A의 용접에 의한 열영향부에 대하여 용액의 농도와 시간을 변화시켜 가면서 시험을 하였다. 황산의 농도는 20~50% (용적 백분율), 황산구리의 량은

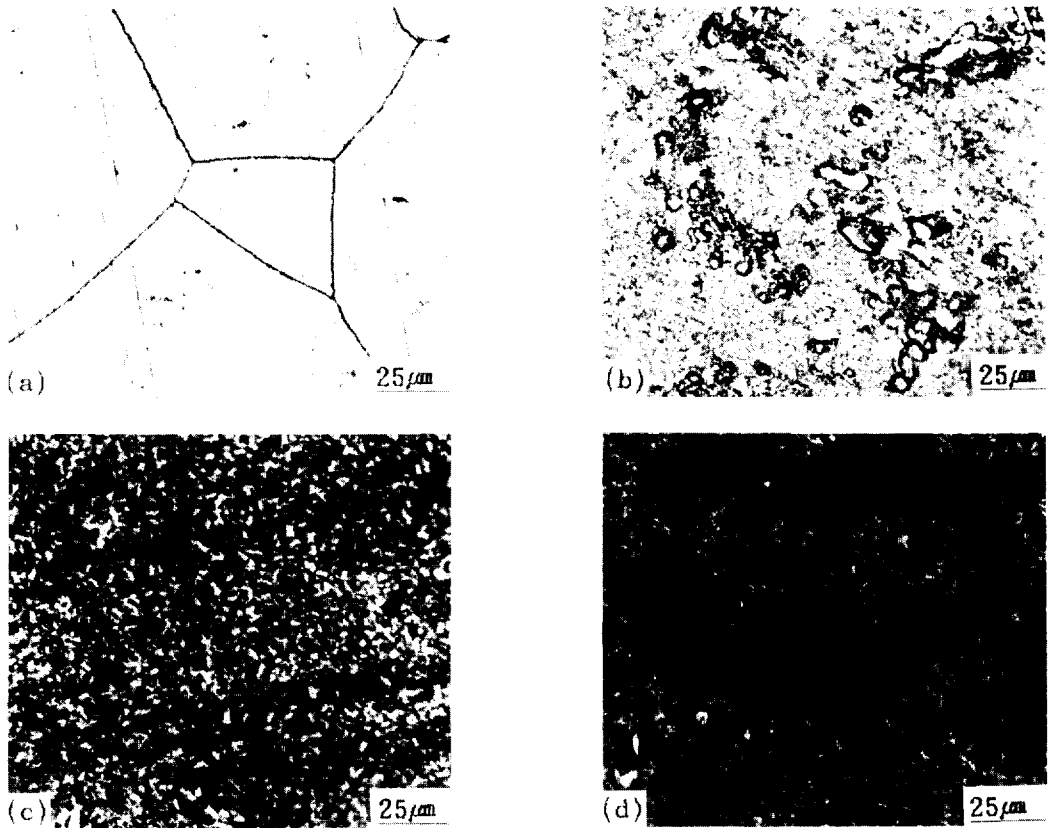


Fig. 1. Microstructures of sensitized ferritic stainless steels after the etch test in 60% sulfuric acid plus 120g/l copper sulfate solution for 5 minutes.¹¹⁾ (a) Type 430, (b) Alloy A, (c) Alloy B, (d) HAZ of welded Alloy A

100~200g/l, 시간은 2~10분으로 변화시켜서 에칭한 부식조직을 관찰하였다. 페라이트 스테인리스강은 변태를 일으키지 않기 때문에 고온으로 가열된 열영향부의 결정립이 조대화되었다. 20%의 황산용액중에서 에칭시킬 때, 황산구리의 농도가 낮은 경우는 입계부식이 Ditch 조직으로 나타났으며, 입내까지도 심하게 부식되었다. 황산구리의 첨가량을 증가시키면 입내부식은 어느정도 억제되지만, 오히려 입계부식이 약해지면서 경미한 전면부식이 발생하였다. 즉 20% 황산용액중에서의 에칭조직은 황산구리를 첨가하여도 전면부식이 발생하였다. 30% 황산용액중에서 에칭시킨 경우는, 120

g/l까지는 현미경의 초점이 어긋나서(Out of focus) 관찰이 어려울 정도로 입내의 부식이 심하였다. 황산구리량을 적당히 첨가한 경우, 입내부식도 저지되며 결정입계를 따라서 부식이 잘 나타났다. 40% 황산용액중에서는 황산의 농도 영향으로 입계뿐만 아니라, 입내와 아입계(Subgrain boundary)까지 침식이 심하고 현미경의 초점 어긋남이 크게 나타났다. 50% 황산용액중에서는 40% 황산용액중에서보다 부식의 정도가 더 심하였다. Fig. 2(a)~(d)에 여러가지 농도의 용액중에서 4분동안 에칭한 조직 [(a) 20% 황산, (b) 30% 황산, (c) 40% 황산, (d) 50% 황산]을 각각 나타내었다. 30% 황산용액에서

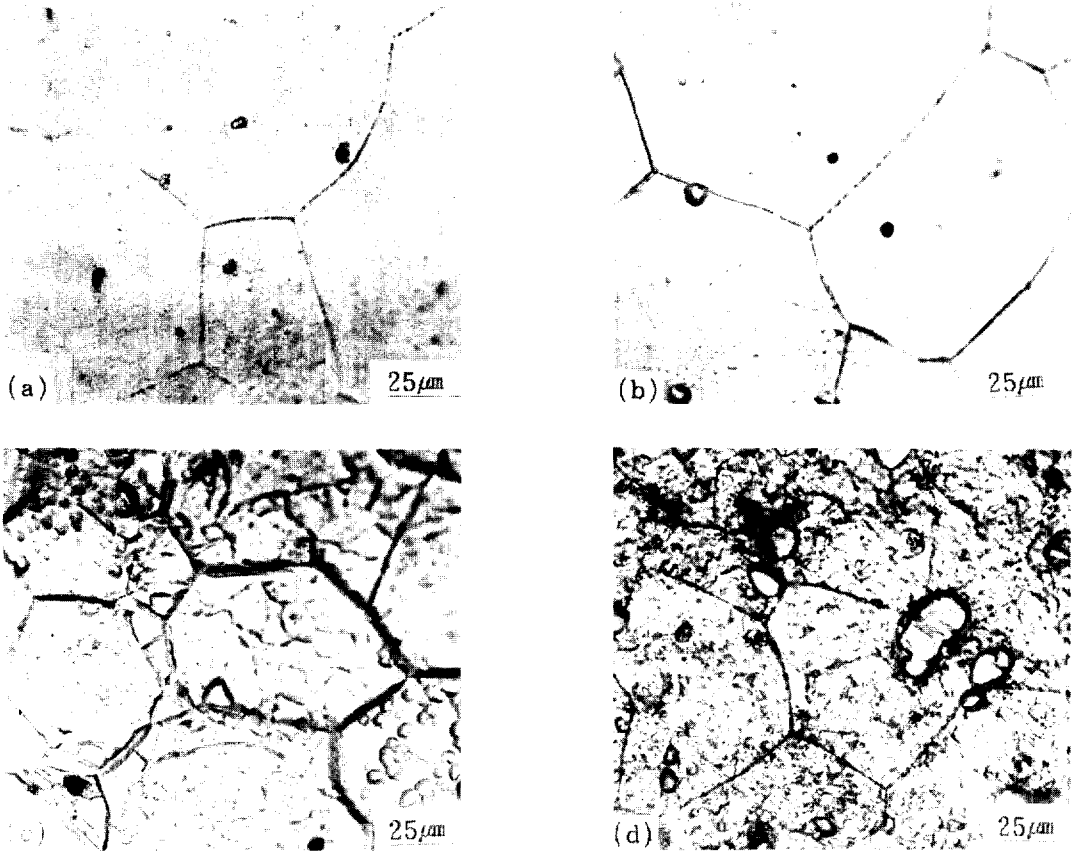


Fig. 2. Etched microstructures of welded Type 409 stainless steel of alloy A after the etch test in various test conditions.

- (a) 20% sulfuric acid+160g/l copper sulfate, 4min.
- (a) 30% sulfuric acid+160g/l copper sulfate, 4min.
- (a) 40% sulfuric acid+160g/l copper sulfate, 4min.
- (a) 50% sulfuric acid+160g/l copper sulfate, 4min.

에칭한 경우가 입내부식이 억제되고 입계부식이 뚜렷한 조직을 보이고 있다.

황산의 농도를 30%로 고정시키고 황산구리를 100~200g/l 첨가하여서 2~10분동안 에칭시켰을 때, 시료 A의 열영향부를 광학현미경의 암시야(Dark Field)를 이용하여 400배로 관찰한 조직이 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a), (b)를 보면, 120g/l까지는 부식이 심하여 관찰할 때 현미경의 초점 어긋남이 컸고, 황산구리량이 140~160g/l인 (c), (d)에서는

입내의 부식이 경미하므로 적당한 농도라고 할 수 있다. 그리고 이 조건으로 에칭시킨 Base Metal의 부식정도를 보면, 황산구리량이 140g/l보다 160g/l첨가될 때 Base Metal의 침식정도가 약하였다. 황산구리를 180g/l이상 첨가하면 입계부식이 약간 억제되나 입내부식 정도가 140~160g/l보다 컸다.

이와 같은 실험결과로부터 Type 409 스테인리스강의 입계부식에 대한 민감성을 조사하기 위한 최적 에칭용액 농도는 30% 황산에 160g/l 황산구

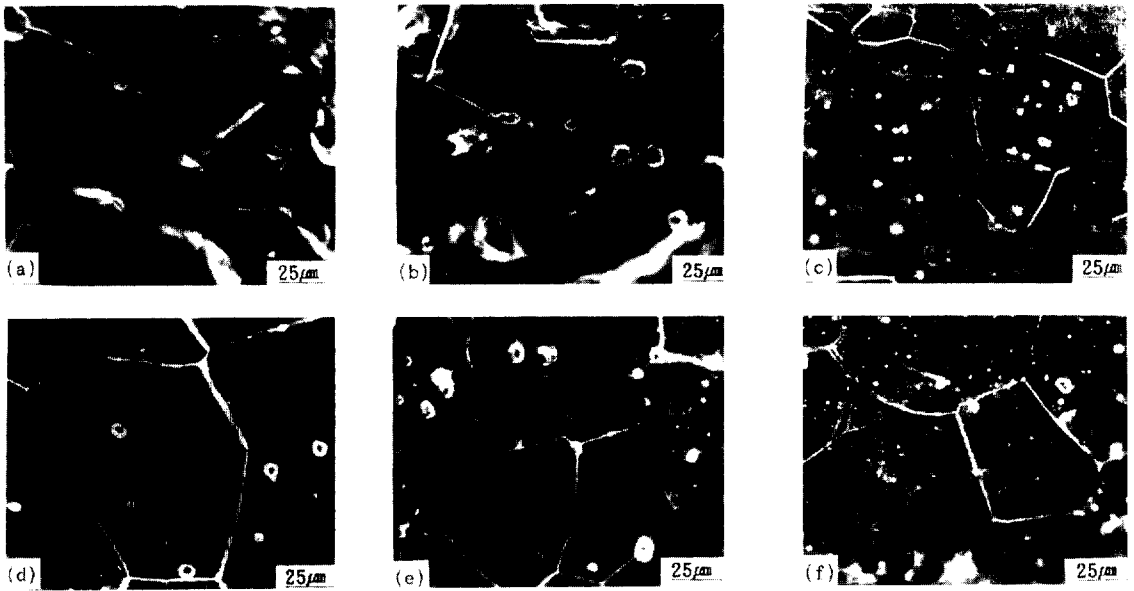


Fig. 3. Dark field microstructures of HAZ of welded alloy A after the etch test in 30% sulfuric acid plus various copper sulfate solution for 4 minutes. (a) 100g/l, (b) 120g/l, (c) 140g/l, (d) 160g/l, (e) 180g/l, (f) 200g/l.

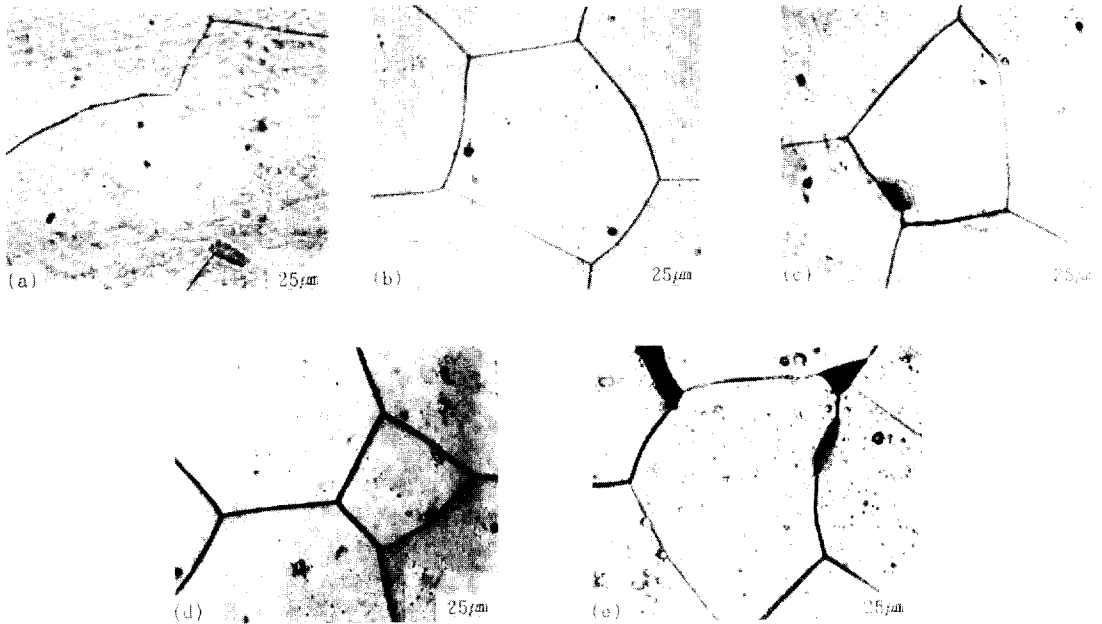


Fig. 4. Effect of etching time on the microstructures of sensitized alloy A after the etch test in boiling 30% sulfuric acid plus 160g/l copper sulfate solution. (a) 2min, (b) 4min, (c) 6min, (d) 8min, (e) 10min

리를 첨가한 용액으로 결정될 수 있다.

이번에는 에칭시간을 설정하기 위하여 위와 같은 최적 용액조건으로 열처리 1에 의하여 예민화시킨 시료 A, B를 2~10분동안 에칭한 부식조직을 Fig. 4, 5에 나타내었다. 시료 A의 조직을 나타낸 Fig. 4를 보면, 에칭시간이 2분일 경우는 입계부식 폭이 좁게 나타났으며, 4~6분의 경우에 입계부식이 선명하게 나타났다. 그러나 에칭시간이 길어지면 입내로의 부식도 점차 진행되어 폭이 넓어지거나 입내가 크게 부식되어 가므로 6분보다는 4분동안 에칭한 것이 더 적당하였다. Fig. 5에 나타난 시료 B의 경우에도 유사한 경향을 나타내었다.

시료 A의 용접에 의한 열영향부에 대하여 30% 황산+160g/l 황산구리 용액에서 에칭시간을 변화시켰을 때의 입계부식 조직을 Fig. 6에 나타내었다. 열처리에 1에 의해 예민화시킨 Fig. 4에서와 마찬가지로, 에칭시간이 2분일 경우는 입계부식의 폭이 좁았으나 에칭시간이 길어질수록 입계 및 입내부식

의 정도가 증가하였다. 따라서 입내부식이 적으면서 입계부식이 잘 나타나는 에칭시간은 4분이 적당하였다.

열처리 1에 의해 예민화시킨 시료 A, B를 비등 30% 황산+160g/l 황산구리 용액중에서 2분동안 에칭시킨 조직의 결정입계를 가로질러서 Cr의 분포를 확인하였다. 페라이트 스테인리스강에서, 900~1000°C에서 강중에 용해된 C와 N이 안정화 원소로 첨가된 Ti와 결합하여, TiC나 TiN을 형성하는 경향이 있음은 잘 알려져 있다.^{14),15)} 그리고 C와 N을 완전히 안정화시키는데 필요한 Ti의 양은 Dundas와 Bond에 의해 제안된 식으로 알 수 있다.¹³⁾ 통상 Type 409 스테인리스강을 안정화시키기 위한 Ti양은 $6 \times C \sim 0.75$ 로 알려져 있다. 따라서 안정화시킨 강종에서는 냉각중 Cr 탄화물, Cr 질화물을 석출시킬 침입원소의 양이 대단히 적어지게 된다. 본 실험에 이용한 Type 409 스테인리스강은 C, N의 제어가 잘된 편으로 ($C < 0.02$, $N < 0.012$,

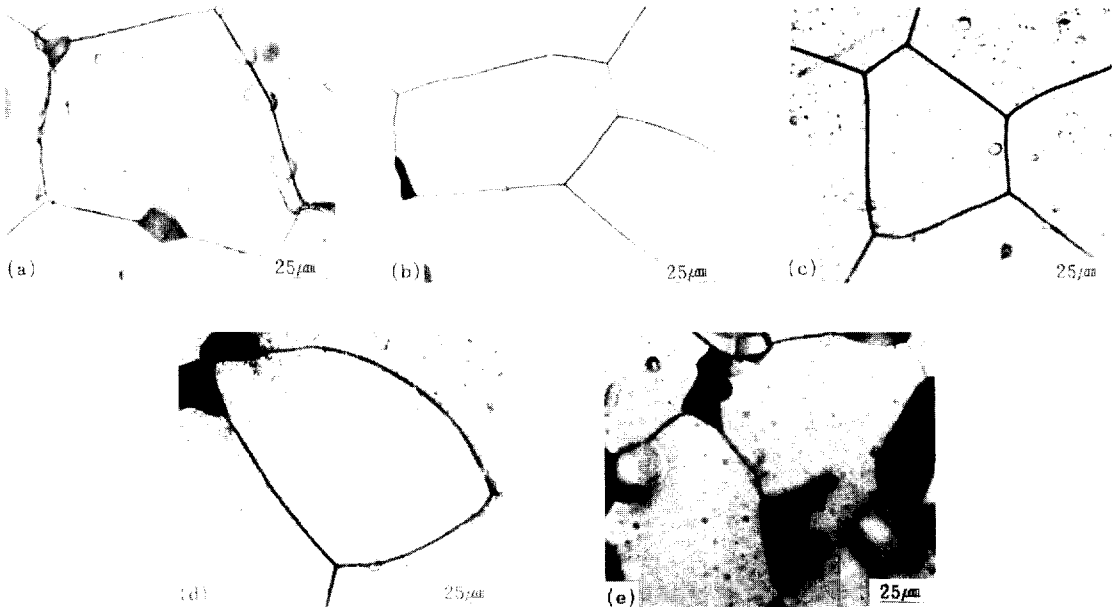


Fig. 5. Effect of etching time on the microstructures of sensitized alloy B after the etch test in boiling 30% sulfuric acid plus 160g/l copper sulfate solution. (a) 2min, (b) 4min, (c) 6min, (d) 8min, (e) 10min

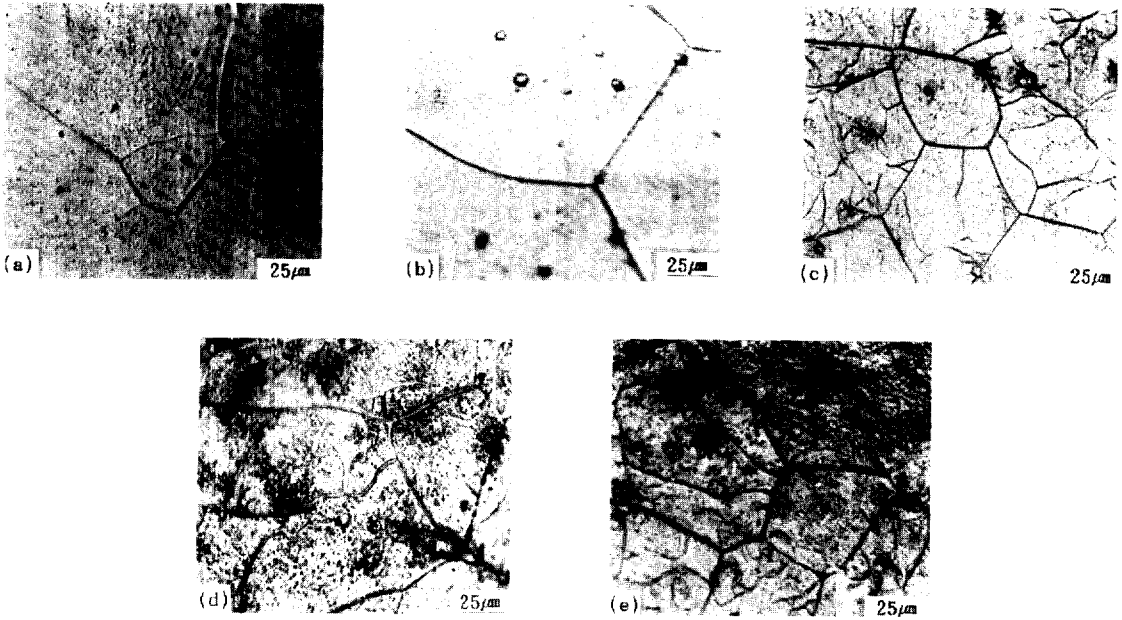


Fig. 6. Effect of etching time on the microstructures of HAZ of weld alloy A after the etch test in boiling 30% sulfuric acid plus 160g/l copper sulfate solution. (a) 2min, (b) 4min, (c) 6min, (d) 8min, (e) 10min

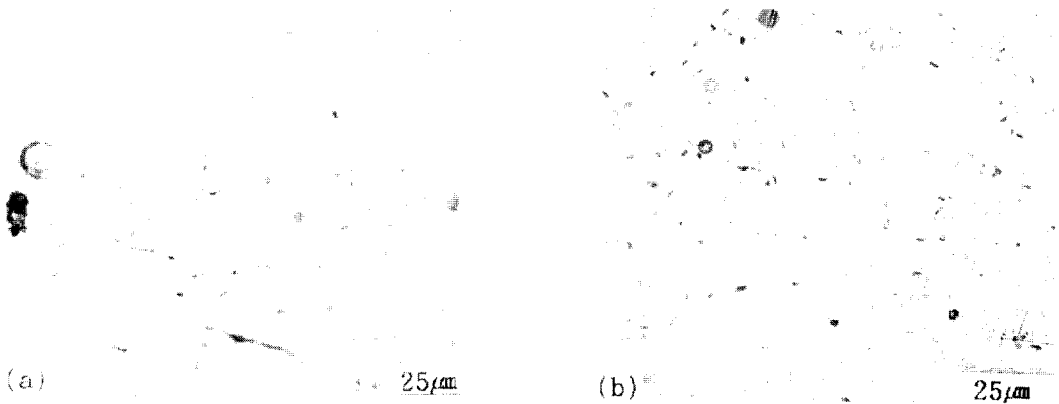


Fig. 7. Optical microstructures of as received and slightly sensitized alloy B after the new chemical etch test in boiling 30% sulfuric acid plus 160g/l copper sulfate solution for 4 minutes.

Ti>0.18) 입계표면의 Cr만으로 석출상이 형성되어 Cr결핍층은 입계에 형성되었다.

열처리 2를 행하여 약간 예민화(Slightly sensitization)시킨 시료 B와 As received 시료 B를 최적

에칭조건인 비등 30% 황산+160g/l 황산구리 용액에서 4분동안 에칭한 후의 조직이 Fig 7과 같다. Fig. 7(a)의 As Received 시험편은 압연에 따른 소둔공정에 의해 열영향을 받아 예민화되었음을 나타낸

다. 그리고 Fig. 7(b)의 약간 예민화시킨 조직을 보면 부분적으로 입계가 매우 좁게 부식되어 희미한 Dual 조직을 나타내고 있다.

Type 409 스테인리스강의 예민화 정도에 따른 새로운 에칭시험조건외의 효과는, 열처리 2에 의해 약간 예민화시킨 시료의 부식조직인 Fig. 7(b)와 열처리 1에 의해 예민화시킨 시료의 부식조직 Fig. 4(b)를 비교함으로써 잘 알 수 있다. 예민화시킨 시료의 입계부식 조직이 약간 예민화시킨 시료보다 더 뚜렷하게 나타나는 것으로 보아 개발한 새 에칭법이 Type 409 스테인리스강의 입계부식 감수성 평가에 적당함이 확인되었다.

예민화시킨 시료 A, B를 ASTM A 763-Practice Y 규격으로 권장하고 있는 침지시험을 하였다. 이 용액중에서 권장하고 있는 시간(96시간)보다 훨씬 짧은 24시간동안 침지시험한 결과, 표면침식을 초월하여 극심한 용해작용 때문에 시험편의 형상이 이그러졌다. ASTM A 763-Practice Y 규격은 Type 446, XM27, XM33 등 Cr 함량이 19%이상의 페라이트계에 적용할 수 있는 침지법이기 때문에 Cr 함량이 12%이하인 Type 409 스테인리스강의 예민화에 의한 입계부식 평가에는 부적당하였다.

4. 결 론

열처리나 용접한 후, Type 409 스테인리스강에 발생하는 입계부식의 감수성을 평가하기 위하여 화학적 에칭시험법을 개발하였다. 이 에칭시험법은 30% 황산에 160g/l의 황산구리를 첨가한 비등용액중에서 4분동안 에칭하는 것이다. 따라서 오스테나이트 스테인리스강을 옥살산 에칭시험의 부식조직으로서 입계부식을 간단히 평가할 수 있는 것처럼, Type 409 스테인레스 강에 이 새로운 에칭법을 적용하여 입계부식 민감성을 간단히 평가할 수 있다. 이 시험은 표준 유리기구와 가열장치 이외의 다른 보조장치가 필요하지 않아서 간편하다.

참 고 문 헌

1. 二黑 晴男, 金屬, **2**, 9 (1991).
2. 根本力男, 自動車技術, **43**, 6, 55 (1989).
3. Motaaki Osawa and Fukujiro Ikezu, *Boshoku Gijutsu*, **38**, 9, 473 (1989).
4. J. B. Lee, J. F. Smith, A. L. Geiger and D. H. Kah, *Corrosion*, **41**, 2, 76 (1985).
5. Ernest L. Hall and Clyde L. Briant, *Metallurgical Trans.*, **15A**, 5, 793 (1984).
6. A. P. Bond, *Trans. Met. Soc. AIME*, **245**, 2127 (1969).
7. 長谷川正義 監修: "Stainless Steel 便覽", 1st. ed., 日刊工業新聞社, 東京, 日本, 227, 1989.
8. Yoshihiro Hisamatsu and Hiroguki Ogawa, *Iron and Steel*, **第63年**, 5, 585 (1977).
9. *Annual Book of ASTM Standards*, Designation: A 262-85, Standard Recommended Practice for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Stainless Steel.
10. *Annual Book of ASTM Standards*, Designation: A 763-85, Standard Practice for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steels.
11. J. B. Lee, *Corrosion*, **37**, 8, 437 (1981).
12. June(James) Bok Lee, *Corrosion*, **40**, 4, 163 (1984).
13. H. J. Dundas and A. P. Bond, *Intergranular Corrosion of Stainless Alloys*, ASTM, STP, **656**, 154 (1978).
14. H. Tomari, K. Fujiwara, K. Shimogori, T. Fukuzuka, and M. Kanda, *Corrosion*, **38**, 5, 263 (1982).
15. A. J. Sedriks, *Corrosion*, **45**, 6, 510 (1989).