

## 13%Cr 스테인리스강의 표면 질소침투처리에 미치는 Al첨가의 영향

윤삼석 · 김기돈\* · 이해우\*\* · 강창룡\*\*\* · 성장현

동아대학교 금속공학과

\*포항종합제철(주) 기술연구소

\*\*삼성중공업 조선플랜트연구소

\*\*\*부경대학교 금속공학과

Effect of Al Addition on the Surface Nitrogen Permeation Treatment of 13%Cr Stainless Steels

S. S. Yoon, K. D. Kim,\* H. W. Lee,\*\* C. Y. Kang\*\*\* and J. H. Sung

Dept. of Metallurgical Engineering Dong-A University, Pusan Korea, 604-714

\*POSCO Technical Research Laboratories, Pohang, Korea, 790-785

\*\*Shipbuilding & Plant Institute, Samsung Heavy Industries Co. Ltd, Koje-City, Korea, 641-430

\*\*\*Dept. of Metallurgical Engineering Pukyong National University, Pusan, Korea, 608-739

**ABSTRACT** The surface nitrogen permeation of Al alloyed 0.14%C-13%Cr stainless steels was investigated after heat treating at 1050°C~1150°C in the nitrogen gas atmosphere. The strong affinity between Al and nitrogen permeates the nitrogen through the interior of the steels. Two precipitates of round type and needle type are observed at the surface layer. These precipitates mainly consist of AlN containing plenty of aluminum. The surface layer of 0.53%Al alloyed specimen shows ferrite phase, while the surface layers of 1.65%Al and 2.27%Al alloyed specimens appear  $\gamma$  plus  $\alpha$  phases. The depth of nitrogen permeation depends upon the Al content and microstructure of the matrix. The 1.65%Al alloyed specimen representing  $\alpha+\gamma$  matrix phases at the nitrogen permeation temperature shows the maximum case depth in this experiment. Although the surface hardness increases by raising the Al content of the specimen owing to the increase of nitride precipitation density, the nitride precipitation deteriorates the corrosion resistance in the solution of HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and FeCl<sub>3</sub>.

**Key words :** Surface nitrogen permeation, AlN precipitation, Solution nitriding, Al addition, 13%Cr stainless steel, Surface phase change.

### 1. 서 론

A<sub>c1</sub>점 이하의 적절한 온도에서 강의 표면에 질소를 침투시키는 표면경화처리를 질화라고 정의하고 있는 반면에, 고용질화(Solution Nitriding)는 고온의 질소분위기에서 가열하여 스테인리스강 부품 표면에 질소를 침투시키는 열처리이다. 이 방법은

최근에 개발된 새로운 표면개질 방법으로서 스테인리스강을 1050~1150°C에서 질소가스의 압력 및 시간을 변화시켜 오스테나이트상에 질소를 침투고용시킨 후 급랭함으로써 표면경도는 침탄에 의한 표면경화강과 비슷하면서도 내식성이 훨씬 우수한 특징을 가지고 있다.<sup>1-3)</sup> 고용질화가 적용되는 스테인리스강은 고용질화 온도범위인 1050~1150°C

에서 전부 또는 일부가 오스테나이트상을 나타내는 마르텐사이트계, 오스테나이트계 및 2상계 스테인리스강이지만,<sup>14)</sup> 마르텐사이트계 스테인리스강은 질소와 친화력이 큰 Cr함량이 적어 질소의 침투가 어렵기 때문에 질소침투를 용이하게 하고  $\delta$ -ferrite의 형성을 억제하기 위하여 탄소의 함량을 낮추고 Ni, Mn, Co등과 같은 합금원소를 소량 첨가<sup>15)</sup>하기도 한다.

13%Cr을 함유한 마르텐사이트계 스테인리스강은 고용질화후 퀴칭, deep freezing 및 템퍼링에 의해 표면층의 경도가 720Hv에 도달하면서도 내식성이 우수하여 이들의 용도를 스테인리스 베어링, 기어, 펌프 및 공구류로 이용할수 있다고 보고하고 있다.<sup>15)</sup> 그러나 13%Cr을 함유한 마르텐사이트계 스테인리스강을 1050~1150°C의 높은 고용질화온도에서 장시간 유지하면 표면 및 내부의 결정립이 조대해져서 기계적성질에 나쁜영향을 미칠것으로 생각된다.

본 실험에서는 13%Cr스테인리스강의 기본조성에 용접성과 내열성을 증가시키면서 Cr당량에 기여하여 페라이트 형성을 촉진시킨다고 알려진 Al을<sup>16)</sup> 0~2.27% 첨가하여 고용질화 온도범위인 1000~1150°C의 질소가스분위기에서 열처리함으로써 표면층에 질소의 침투고용과 동시에 질화물형성을 촉진시켜 표면층은 내식성을 크게 해치지 않으면서도 경도상승에 기여하고, 내부기지는 페라이트와 마르텐사이트의 혼합조직을 유지하여 결정립을 미세화시키는 강인한 소재를 제작하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

고주파 진공유도로를 사용하여 Al이 첨가된 4종류의 13%Cr스테인리스강을 제작하였다. Table 1에 시료의 화학조성을 나타내었다. 각각의 시료는 약 20kg의 ingot로 제작한 후, 열간압연에 의해 12mm 두께의 판재로 만들었다. 이 판재를 가로x세로x두께가 12x40x12mm되게 절단한 후 시료표면을 #1200까지 연마지로 연마하여 열처리 시험편으로

Table 1. Chemical composition of the specimens. (wt.%)

Specimen No.	C	Si	Mn	Cr	Al	Fe
MS 1	0.13	0.16	0.17	13.25	-	Bal.
MS 2	0.14	0.16	0.18	13.01	0.53	Bal.
MS 3	0.14	0.14	0.17	12.40	1.65	Bal.
MS 4	0.15	0.16	0.16	12.90	2.27	Bal.

사용하였다.

연마가 끝난 시험편은 열처리온도, 시간 및 압력을 변화시켜 질소침투 열처리를 하였다. 질소침투 열처리는 분위기 및 가스 압력조절이 가능한 수직 튜브로에서 질소가스압력을 0, 0.5 및 1kg/cm로 변화시켜 1000~1150°C의 온도범위에서 1~24시간 유지(주로 0.5kg/cm, 1150°C 및 10시간) 후 퀴칭하였다.

열처리가 끝난 시료는 연마 및 정마과정을 거친 다음 45ml glycerine+ 15ml HNO<sub>3</sub>+30ml HCl용액에서 부식시킨 후 광학현미경, 주사전자현미경(EDX) 및 X-선회절기를 이용하여 열처리조건 변화에 따른 표면과 내부의 조직변화, 경도층 깊이, Fe, Cr 및 Al함량 변화, 석출물의 형태 및 종류를 분석하였다. 표면층의 질소침투에 따른 경도변화는 미소경도기(하중 200g 및 5kg)를 사용하여, 표면에서 내부로 이동하면서 경도를 측정하였다. 질소침투 표면층의 내식성은 JIS G 0591 규정에 의해서 5%HCl, 5%H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 및 10%FeCl<sub>3</sub>용액을 제조하여 상온에서 10시간 침지한 후 시료의 무게감량을 조사하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Al이 첨가된 13%Cr스테인리스강을 질소가스 분위기에서 열처리하여 표면에서 내부로 질소를 침투시키면 표면층의 경도상승과 내식성의 변화가 예상된다.<sup>4,7,8)</sup> 따라서 본 연구에서는 13%Cr스테인리스강에 질소와 강한 친화력을 가지면서 페라이트 형성원소인 Al을 첨가한 시료를 사용하여 질

소가스 분위기에서 열처리한 후 표면층의 석출물 분석, 표면층 상변화 및 내부의 조직변화를 조사한 다음, 이들 표면층의 석출물 형성 및 상변화가 경도 및 내식성에 미치는 영향을 조사하였다.

### 3.1 질소침투 표면층의 조직변화에 미치는 Al첨가의 영향

Fig. 1은 1150°C에서 1kg/cm<sup>2</sup>의 질소가스 압력으로 10시간동안 질소침투 열처리 후 퀘칭한 시료의 표면 및 내부조직 사진이다. Al이 첨가되지 않은 MS1시료와 0.5%Al이 첨가된 MS2시료는 (a) 및 (b)에서와 같이 각각 마르텐사이트 조직 및 마르텐사이트와 페라이트의 혼합조직을 볼 수 있으며 질소침투 여부는 불명확하다. MS3 및 MS4시료는 (c) 및 (d)와 같이 깊은 질소침투층이 보이지

만 Al이 2.27%첨가된 MS4시료보다 1.65%첨가된 MS3시료의 질소침투층 깊이가 더 깊게 나타났다. 내부의 기지조직도 Al함량 증가에 따라 마르텐사이트+페라이트 2상 혼합조직에서 페라이트 함량이 증가하였고, Al이 2.27%첨가된 MS4시료는 거의 페라이트 단상조직을 나타내었다. 또한 질소침투층에는 등근형상의 석출물과 침상의 석출물을 관찰할 수 있다. Al이 0.53%첨가된 MS2시료는 질소침투층이 분명하지 않았으나 Fig. 2(a)에서와 같이 정마된 표면(polished surface)에서 질소침투층을 관찰할 수 있으며, 결정입계가 질소침투의 확산통로로 이용됨을 알 수 있다. (b)의 부식시킨 조직에서는 내부조직은 페라이트+마르텐사이트의 2상 혼합조직임을 알 수 있지만, 표면층은 정마된 표면에서 관찰하는 것 보다 훨씬 깊은 곳까지 마르텐

Fig. 1 Microstructure of nitrogen permeated specimens showing the case depth and matrix phase after heat treating in the 1kg/cm<sup>2</sup> nitrogen gas atmosphere at 1150°C for 10 hours.

(a)MS1

(b)MS2

(c)MS3

(d)MS4

시료보다 페라이트+오스테나이트의 2상 혼합조직 사이트 단상을 나타내는 것으로 미루어 질소가 깊은 지점까지 침투됨을 알 수 있다.

Fig. 3은 Al이 1.65%첨가된 MS3시료를 1000~1150°C에서 질소침투 열처리한 시료의 조직사진이다. 열처리온도가 비교적 낮은 1000°C에서는 (a)와

깊이 질소침투층 깊이가 얇고, 내부조직도 조대한 페라이트 결정립과 함께 압연방향으로 배열된 미용해의 탄화물로 추정되는 검은점들을 관찰할 수 있다. 온도가 상승할수록 질소침투층 깊이가 깊으며 기지조직도 (d)와같이 페라이트+마르텐사이트의 2상조직을 나타낸다.

이상의 조직관찰에서 고온에서 장시간 가압처리한 결과 질소가스가  $N_2 \rightarrow 2(N)$ 으로 변화하고<sup>9),10)</sup> 이 N원자가 표면에서 내부로 확산침투될 때 Al과 강력한 친화력에 의해 질소가 내부로 침투되기 때문에 질소침투층이 나타난다. 또한 질소침투열처리 온도에서 기지조직이 페라이트 단상을 갖는 MS4을 가지면서 Al첨가량이 적은 MS3시료의 질소침투층 깊이가 깊은 것으로 보아 오스테나이트상의 높은 질소고용도 역시 질소침투층 깊이에 영향을 미친다고 생각된다.

### 3.2 Al첨가량변화에 따른 표면층의 상변화

Fig. 4는 Al첨가량 변화에 따른 석출물의 양과 형상을 나타낸 것이다. Al이 0.53%첨가된 MS2시료의 석출물의 양은 Al이 1.65% 및 2.27%인 MS3 및 MS4시료에 비해 적다. MS3 및 MS4시료 모두는 등근형상의 석출물과 침상의 석출물을 관찰할 수 있지만, Al이 1.65%인 MS3시료는 등근형상의 석출물이 Al이 2.27%인 시료는 방향성을 가진 침상의 석출물이 많음을 알 수 있다.

Fig. 5는 질소침투층을 형성하는 MS2 및 MS3강을 1150°C에서 0.5kg/cm<sup>2</sup>의 질소가스 압력으로 10시간 동안 열처리한 시료의 X-선 회절패턴이다. Al첨가량이 0.53%인 MS2시료의 표면층은  $\alpha$ -Fe상 피크만 나타났지만, Al첨가량이 1.65%인 MS3시료는  $\gamma$ -Fe상,  $\alpha$ -Fe상 및 미약한 AlN상피크가 나타났다. 강력한 오스테나이트 형성원소인 질소를 침투시킴으로서 Al이 1.65%첨가된 시료가  $\gamma$ -Fe상 피크가 나타난 것으로 보아 소정의 Al함량 이상이 되면 Al과 질소의 강한 친화력으로 인하여 상온에서도 오스테나이트상이 안정화될 만큼 충분히 많은 양의 질소가 침투됨을 알 수 있다. 한편 Al을 2.27%

첨가한 MS4시료도 MS3시료와 마찬가지로  $\gamma$ -Fe,  $\alpha$ -Fe 및 AlN상피크가 나타났다.

표면층에 존재하고 있는 석출물의 종류 및 성분을 조사하기 위해 석출물과 석출물 주위 오스테나이트상의 Fe, Cr 및 Al의 함량변화를 조사하였다. Fig. 6은 Al이 1.65%첨가된 MS3시료를 1150°C에서 0.5kg/cm<sup>2</sup>의 질소가스 압력을 주어 10시간동안 열처리한 시료의 석출물의 EDX분석 한 결과이

Fig. 4 Microstructure showing the surface precipitate morphologies after heat treatment in the 0.5kg/cm<sup>2</sup> nitrogen gas atmosphere for 10 hours.

(a)MS2 (b)MS3 (c)MS4

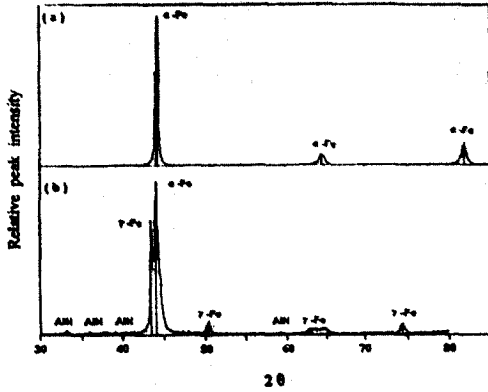


Fig. 5 X-ray diffraction patterns of the surface layer after heat treating in 0.5kg/cm<sup>2</sup> nitrogen gas atmosphere at 1150°C for 10 hours.  
(a)MS2 (b)MS3

다. 등근형태의 석출물은 (a)에서와 같이 Al의 피크값이 큰 반면 Cr과 Fe의 피크값은 매우 작은 것으로 보아 이 석출물은 Al이 매우 풍부한 AlN이라고 생각된다. 침상의 긴석출물은 (b)에서와 같이 Al의 피크값이 상대적으로 낮은 반면, Cr과 Fe의 피크값은 높은 것으로 보아 Al 또는 Cr의 질화물이거나 탄질화물(carbonitride)라 생각된다.<sup>11)</sup> 석출물 주위의 오스테나이트상은 (c)에서와 같이 Al의 피크는 보이지 않는 반면 Fe와 Cr의 피크가 높게 나타났다. 특히 Cr의 피크는 (b)의 침상석출물과 비슷한 높이를 보이고 있는데 이로 미루어 오스테나이트상의 Cr함량은 감소되지 않은 것으로 생각되고, 따라서 오스테나이트상의 내식성은 저하되지 않을 것으로 기대할 수 있다. 이 분석 결과로부터 Al은 오스테나이트상에서 석출물로 Cr은 석출물에서 오스테나이트상으로 이동함을 알 수 있다.

3.3 Al첨가량 변화에 미치는 질소침투층 깊이변화  
대표적인 침입형 원소인 탄소는 열처리조건 변화에 따라 강의 표면에서 침탄 및 탈탄현상을 쉽게 관찰할 수 있다. 따라서 동일한 침입형 원소인 질소 또한 이러한 현상이 있을 것으로 생각되어 질소침투 열처리시간, 압력 및 온도를 변화시켜 Al

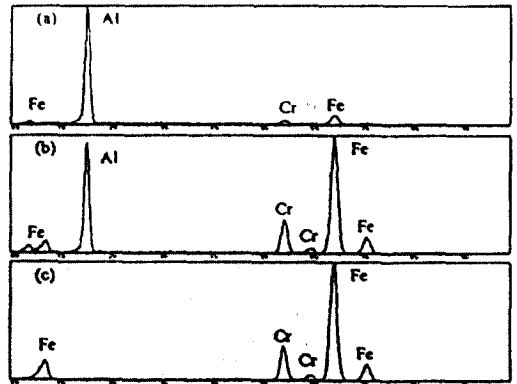


Fig. 6 EDX-spectra of surface precipitate and  $\gamma$  phase of surface layer MS3 specimen.  
(a) round type precipitate  
(b) needle type precipitate  
(c)  $\gamma$  phase of surface layer

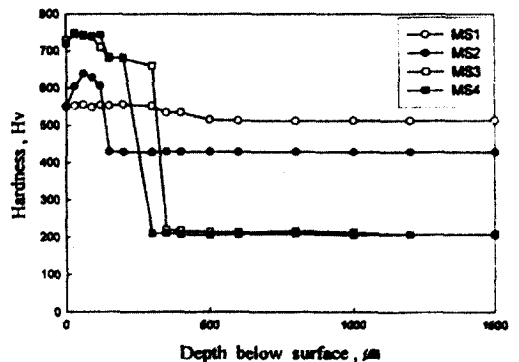


Fig. 7 Hardness profiles of 13%Cr stainless steels after heat treating in the 1kg/cm<sup>2</sup> nitrogen gas atmosphere at 1100°C for 10 hours.

이 첨가된 13%Cr스테인리스강의 경화층깊이를 Al 함량 변화에 따라 조사하였다.

Fig. 7은 Al함량이 다른 4종류의 시료를 1100°C, 1kg/cm<sup>2</sup>의 질소가스 압력에서 10시간동안 열처리후, 표면에서 내부로 깊이 변화에 따른 경도 변화를 나타낸 것이다. 질소침투 여부가 불명확한 MS1시료는 표면 및 내부의 경도 변화가 매우 적지만, Al이 첨가된 MS2, MS3 및 MS4시료는 표면층의 경도가 상승하였으며 질소침투에 의해 석출물 경계가 뚜렷한 지점(Fig. 1참조)에서 급히 경도가 낮아지고 있다. 또한 Fig. 1 및 Fig. 4에서 관찰한 바와 같이 Al의 함량이 증가하여 석출물의 양이 많고 질소가 깊이 침투된 MS3 및 MS4시료가 상대적으로 석출물의 양이 적은 MS2시료보다 표면층 경도가 높게 나타났다. 페라이트 형성원소인 Al의 첨가량이 증가하면 앞의 Fig. 1에서 관찰한 바와 같이 내부기지는 마르텐사이트와 페라이트의 2상 혼합조직에서 페라이트양이 증가하기 때문에 경도가 낮아지고 있다.

Fig. 8은 열처리시간을 10시간 질소가스 압력을 0.5kg/cm<sup>2</sup>로 고정시킨 후, 질소침투 열처리온도 변화에 따른 경화층의 깊이변화를 나타낸 것으로, Al이 1.65%와 2.27%인 MS3 및 MS4시료는 열처리온도의 상승에 따라 경화층깊이가 급히 증가하지만, 0.53%Al이 첨가된 MS2시료는 경화층깊이가 완만하게 증가한다.

Fig. 9는 열처리온도를 1150°C 질소가스압력을 0.5kg/cm<sup>2</sup>로 고정시킨 후, 열처리시간을 변화시켰을 때 경화층의 깊이 변화를 나타낸 것이다. Al이 1.65%와 2.27%첨가된 MS3와 MS4시료는 열처리시간 증가에 따라 경화층깊이가 현저하게 증가하지만, 0.53%Al첨가된 MS2시료는 경화층깊이가 상대적으로 완만하게 증가한다.

열처리온도를 1150°C, 시간을 10시간으로 고정후, 질소가스 압력변화에 따른 경화층깊이 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 질소가스 압력이 증가하면 경화층깊이가 증가하지만, 0.53%Al이 첨가된 MS2시료는 질소가스 압력이 증가하여도 경화층의 깊이

변화는 거의 없다.

Fig. 11은 열처리온도를 1150°C, 질소가스압력을 0.5kg/cm<sup>2</sup>으로 고정시킨 후, 시료의 Al함량 변화

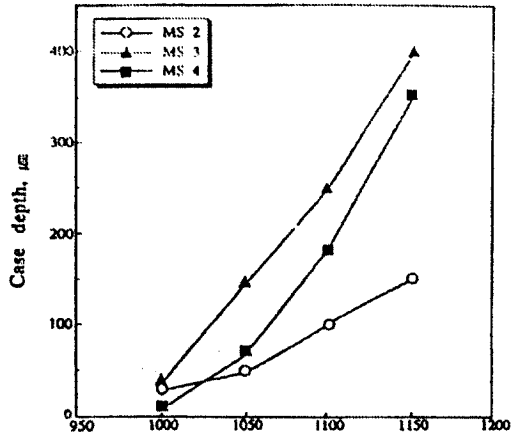


Fig. 8 Variation of case with temperature for Al alloyed 13%Cr stainless steels after heat treating in the 0.5kg/cm<sup>2</sup> nitrogen gas atmosphere for 10 hours.

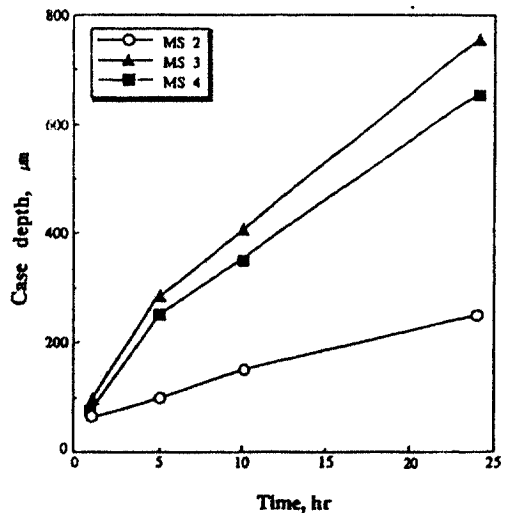


Fig. 9 Variation of case depth with time for Al alloyed 13%Cr stainless steels after heat treating in the 0.5kg/cm<sup>2</sup> nitrogen gas atmosphere at 1150°C

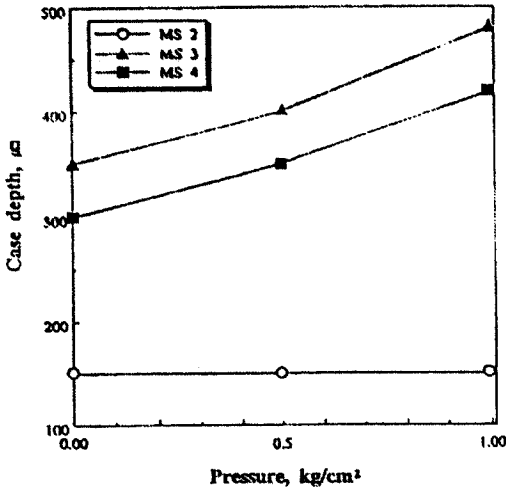


Fig. 10 Variation of case depth with pressure for Al alloyed 13%Cr stainless steels after heat treating at 1150°C for 10hours in the nitrogen gas atmosphere under the various pressure.

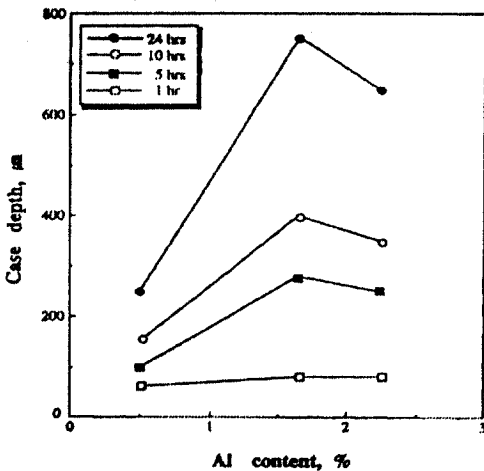


Fig. 11 Variation of case depth with Al for the 13%Cr stainless steels after heat treating in the 0.5kg/cm² nitrogen gas atmosphere at 1150°C for various time.

에 따른 경화층 깊이 변화를 나타낸 것이다. Al 함량이 증가할수록 경화층 깊이가 증가하였으며, 열처리시간이 길어지면 경화층 깊이는 현저하게

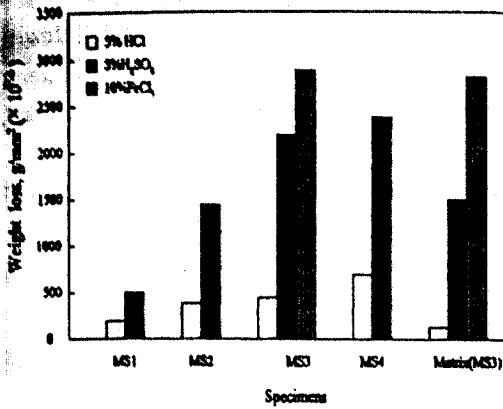
증가하였다. Al이 0.53wt.% 첨가된 MS2시료는 1150°C에서 오스테나이트상을 가지는데, 질소는 오스테나이트상에 고용도가 크기 때문에 질소가 깊게 침투하여 경화층의 깊이가 매우 깊을 것으로 예상되지만, 첨가된 Al의 양이 0.53%로 적기 때문에 강력한 친화력을 가진 Al과 질소의 친화력을 충분히 이용할 기회가 적어서 경화층의 깊이는 얇다. Al함량이 가장 높은 MS4시료는 1150°C에서 페라이트단상을 갖기 때문에, 질소가 페라이트상에 침투되기 어려워 경화층의 형성이 매우 어려울 것으로 예상되지만, Al과 질소의 강력한 친화력으로 인해서 깊은 경화층을 얻었다. 1.65% Al이 첨가된 MS3시료는 1150°C에서 페라이트+오스테나이트의 2상 영역이므로 오스테나이트에 질소의 고용이 쉬울 뿐만 아니라, Al과 질소의 강력한 친화력으로 인해서 2.27%Al이 첨가된 MS4시료보다 더 깊은 경화층을 얻었다.

이상의 실험에서 Al이 첨가된 13%Cr 스테인리스강을 고온의 질소분위기에서 열처리에 의해 표면에서 내부로 질소를 침투시킬 때 질소의 침투깊이를 깊게하면서 표면경도를 높이는 방법은 기지는 Al함량의 조절에 의해 α+γ조직을 유지하고 표면층은 질소침투에 의해 γ상으로 변태를 일으킴과 동시에 질화물을 석출시키는 방법이다. 본실험에서 이조건을 만족시키는 Al함량은 Fig. 11에서와 같이 1.65%Al로 나타났다.

### 3. 4. 질소 침투층의 내식성

Fig. 12는 Al이 첨가된 13%Cr스테인리스강을 1150°C에서 10시간동안 0.5kg/cm²의 질소가스분위기에서 열처리한 후, HCl, H₂SO₄ 및 FeCl₃의 수용액에 10시간동안 침지한 후 무게감량을 도시한 그림이다. Al이 첨가되지 않은 MS1시료가 Al이 첨가되어 질소침투층을 형성하는 MS2, MS3 및 MS4시료보다 산성분위기에서 우수한 내식성을 보여주고





**Fig. 12** Effect of nitrogen permeation on the corrosion rate after 10 hours immersion in the various acidified solution. The specimens are heat treating at 1150°C for 10 hours in the 0.5kg/cm<sup>2</sup> nitrogen gas atmosphere.

있다. Al이 1.65% 첨가된 MS3시료에서 페라이트+마르텐사이트상을 가진 기지와 석출물+오스테나이트상을 가진 표면층의 내식성을 비교해 보면 FeCl<sub>3</sub>수용액에서는 비슷한 내식성을 보이지만, HCl 및 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 같은 산성분위기에서는 질화물이 석출된 표면층의 내식성이 약간 저하됨을 알 수 있다. Fig. 6의 EDX분석 결과에서와 같이 질소침투에 의해 표면층에 형성된 오스테나이트상은 Cr함량이 감소되지 않고 질소가 충분히 고용되기 때문에 내식성이 향상 될 것으로 기대하였지만, 표면층에 석출된 많은 양의 질화물과 오스테나이트상이 부정합계면을 이루어 이계면이 우선부식되어 내식성을 저하시키기 때문에 표면층의 내식성은 내부기지보다 저하된다고 판단할 수 있다.

**4. 결론**

Al의 첨가량을 변화시킨 0.14%C-13%Cr강을 질소분위기의 고온에서 질소침투 열처리하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 표면층의 석출물은 구형과 침상석출물로 이루어

어져 있으며 구형석출물의 Al함량이 침상석출물에서 보다 더 높게 나타났다. 이들 석출물은 주로 Al이 풍부한 AlN으로 밝혀졌다. 석출된 표면층의 조직은 0.53%Al이 첨가된 강은 페라이트상이었지만, 1.65%Al 및 2.27%Al이 첨가된 강은 오스테나이트+페라이트상으로 나타났다.

2) Al과 질소의 강한 친화력을 이용하여 질소침투 열처리시 Al의 첨가량 증가에 따라 침투층의 깊이가 깊어졌지만, 질소침투 열처리 온도에서 기지가 페라이트 단상인 2.27%Al이 첨가된 시료보다 페라이트+오스테나이트상인 1.65%Al이 첨가된 시료가 Al의 함량은 적어도 질소침투층 깊이가 더 깊었다.

3) 동일 Al함량에서 질소가스압력, 처리온도 및 처리시간의 증가에 따라 질소침투 경화층의 깊이는 깊어졌지만, Al함량이 적은 0.53%Al시료는 질소침투 온도에서 오스테나이트상의 양이 많아도 처리온도, 시간 및 질소가스 압력증가에 따라 질소침투층 깊이의 변화가 가장 적었다.

4) Al첨가량 증가에 의해 질화물 석출량이 증가하여 표면층의 경도는 현저히 상승하였지만, 질화물 석출에 의해 HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 FeCl<sub>3</sub> 분위기에서의 내식성은 저하되었다.

**참고 문헌**

- 1) H. Berns, & S. Siebert : "9th Int. Cong. on Heat Treat and Surf. Eng. & Franch Open Int. Conf. on Heat Treat." France, 26-28 Sep. 1994, 175
- 2) H. Berns, & S. Siebert : ISJ International 36, 7(1996) 927
- 3) H. Berns, & S. Siebert : "Fourth International Conference DUPLEX STAINLESS STEEL Vol. 1 paper 120, 13-16 Nov. 1994, Glasgow Scotland.
- 4) H. Berns : ISJ International, 36 (1996) 909.
- 5) H. Berns, R. I. Juse: "Proceedings 6th

- Intrnational Semina of IHFT", Kyonju, Korea, 1997, 275
- 6) P. J. Uggowitzer, R. Maddowski, & M. O. Speidel : ISIJ International 36(1996) 901
  - 7) F. B. Pickering : High Nitrogen Steel, J. Foct & A. Hendry Eds, The institute of Metals, London, (1989) 10
  - 8) V. G. Gavriljuk : ISIJ International, 36(1996) 738.
  - 9) J. Romu & H. Haenninen : "High Nitrogen Austenite Stainless Steel Manufacturing Technologies", Helsinki, Univ. of Technology, Espoo, Finland (1993) 8
  - 10) D. R. Anson, R. J. Pomfret & A. Hendry : ISIJ International, 36(1996)750
  - 11) 허종서, 주동원, 강창룡, 성장현: 대한금속학회지, 37(1999)258