

수퍼 2상 스테인리스강의 열처리 조건변화에 따른 첨가원소 질소의 거동

朱東元·成章鉉

동아대학교 공과대학 금속공학과

Behavior of Nitrogen in the Variation of Heat Treatment
Conditions of Super Duplex Stainless Steel

Dong Won Joo, Jang Hyun Sung

Dept. of Metallurgical Engineering, Dong-A University, Pusan 804-714

ABSTRACT

After changing the heat treating atmosphere of nitrogen gas, argon gas and vacuum, the nitrogen contents, microstructural changes, hardness and corrosion resistance of 0.25wt.%N alloyed super duplex stainless steel have been investigated in the temperature range from 1050°C to 1350°C. The nitrogen content showed to be increased up to 0.36wt.% after heat treating the specimen in nitrogen gas at 1200°C, while the decrement of nitrogen content in vacuum atmosphere was shown down to 0.03wt.% at 1350°C. After heat treating in the mixed gas atmosphere of argon and nitrogen at 1250°C, the surface γ phase existed as $\alpha + \gamma$ phase increased with increasing nitrogen gas content. The γ single phase appeared at the surface above 80%N₂ gas, while the surface α single phase was shown below 20%N₂ gas. When heat treating the specimen in nitrogen gas at 1050°C, the hardness of austenite phases increased above Hv 40 at the surface layer compared to the hardness of the core parts, while decrement of denitriding effect caused to the hardness nearly unchanged between surface and the core parts after heat treating in vacuum atmosphere. The surface γ single phase specimen showed superior corrosion resistance than the surface α single phase specimen. The surface α phase existed in the $\alpha + \gamma$ microstructure showed higher corrosion resistance after heat treating in the nitrogen gas atmosphere than the α phase heat treated in the argon gas and vacuum atmosphere.

1. 서 론

오스테나이트(γ)의 페라이트(α)의 혼합조직으로 이루어진 2상스테인리스강은 미세조직상의 특징으로 인해 단상의 스테인리스강이 갖지 못하는 우수한 내식성과 강도를 보유하고 있다.^{1)~3)} 이러한 2상스테인리스강의 내식성 및 기계적 특성을 더욱 개선하고,

특수한 성질을 부여하기 위하여 합금원소를 첨가시키는 연구가 많이 이루어지고 있다. 최근에는 합금원소로 침입형 원소인 질소를 첨가하여 내식성 및 기계적 성질을 개선하려는 연구가 주로 수행되고 있으며,^{3~5)} 정련기술의 발달과 더불어 질소를 합금화하는 기술이 크게 발전됨에 따라 다양한 용도의 고질소 스테인리스강이 개발되어 상업적으로 생산되고 있다.^{3), 6)~8)}

스테인리스강에 질소를 첨가하면 결정립이 미세화되어 인성이 향상되며, 항복점이 명확히 나타나고 탄소의 확산속도를 늦추어 탄화물석출을 지연시킴으로써 내식성이 향상된다고 알려져 있기 때문에,^{1),9)} 강도와 내식성을 향상시키기 위해 0.1~0.5wt.% 범위의 질스테인리스강에 첨가하는 것이 보통이다. 2상 스테인리스강에서도 강력한 오스테나이트 형성원소인 질소를 첨가하여 이러한 장점을 충분히 활용하고 있다.

그러나 스테인리스강에 질소를 첨가하면 열간압연, 단조 등의 고온상태에서 고용된 질소가 탈질될 가능성이 많아서,¹⁰⁾ 산세과정 및 기계적 스케일 제거 후에 표면부의 질소 농도가 중심부의 농도보다 낮아질 수 있기 때문에, 최종 제품의 조직 불균질화를 초래하여 내식성 및 기계적 성질을 악화시킬 수 있다. 또한 최근 연구에 의하면 질소 가스분위기에서 스테인리스강을 열처리하면 침질된다는 보고도 있다.^{11),12)} 지금까지 질소첨가에 따른 내식성 및 기계적 특성에 관한 연구는 중점적으로 이루어지고 있으나,^{4),9),10)} 고온 열처리 과정에서 발생하는 침질 및 탈질에 관한 체계적인 연구는 극히 드문 것 같다.

본 연구에서는 질소를 함유한 수퍼 2상 스테인리스강을 열처리 온도, 분위기 및 시간을 변화시켜 열처리한 다음, 시료의 질소농도를 측정하여 열처리온도, 분위기 및 시간 변화에 따른 침질 및 탈질현상을 관찰함으로써, 질소를 함유한 수퍼 2상 스테인리스강의 최적 열처리 조건을 찾는 데 그 목적이 있다.

2. 실험방법

시료는 Sandvic사에서 제작한 UNS S32760 조성의 수퍼 2상 스테인리스강을 사용하였으며, 시료의 화학조성을 표 1에 나타내었다. 기계가공에 의해 직경 5mm인 봉재 시료 및 열간 압연과 냉간 압연을 통해 2mm 두께의 판재 시료를 준비하며, 열처리에 앞서 시료의 표면을 연마지(#1200)로 연마하여 사용하였다.

Table 1 Chemical composition of specimen(UNS S32760).

Element	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Cu	W	We
wt. %	0.023	0.41	0.69	25.13	6.96	3.58	0.24	0.56	0.62	Bal

봉재 시료를 질소가스, 알곤가스 및 진공분위기하에서 1050℃~1350℃까지 150℃ 간격으로 5~60분간 유지후 수냉하여 열처리 분위기, 온도 및 시간의 변화에 따른 질소 농도를 구하여 탈질 및 침질된 질소량을 구하였다. 두께 2mm로 냉간 압연한 판재 시료는 질소가스와 알곤가스의 혼합가스를 사용하여 1050℃, 1150℃ 및 1250℃에서 20분간 유지후 수냉한 다음 질소가스함량의 변화에 따른 표면 조직변화 및 내식성시험을 하였다.

열처리가 끝난 시료는 40%KOH 용액 등을 이용하여 전해부식후 광학현미경 및 X선 회절시험기를 사용하여 표면층의 질소 거동변화에 따른 조직변화를 조사하고, 오스테나이트 및 페라이트상의 체적분율을 조사하였다. 질소 고용도 변화에 따른 경도변화는 마이크로 비커스경도기를 사용하여 침질된 시료와 탈질된 시료에서 γ 상의 경도변화를 조사하였다.

내식성시험은 ASTM G48 규정에 의하여 10% FeCl₃·6H₂O 용액을 제조한 후 50℃에서 60시간 동안 담근 후 시료의 무게 감량을 조사하였으며, 0.1N H₂SO₄+0.05N HCl 용액에서 potentiodynamic 시험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조직변화에 미치는 질소의 영향

2상 스테인리스강에서 α 상과 γ 상의 체적분율은 첨가된 합금원소에 의해 좌우되며, 특히 α 상과 γ 상의 체적분율을 예측하기 위해서는 Cr_{eq}와 Ni_{eq}이 주로 사용된다. Cr_{eq}와 Ni_{eq} 구하는 식 중에서 본 실험의 시료 조성에서는 아래 식을 사용하였다.¹³⁾

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 0.5\%Si + 0.72\%W$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30\%(C+N) + 0.5\%Mn + 0.44\%Cu$$

이 식에서 스테인리스강의 γ 상의 안정화 원소로는 Ni, C, N, Mn, Cu 등이 있지만, C와 N은 다른 합금 원소보다 약 30배 이상 γ 상의 안정화 원소로 작용하고 있다. 그리고 Charles 등이 제안한 수퍼 2상스테인리스강에서 γ 상의 안정화에 미치는 질소첨가의 영향을 그림 1에 나타내었다.¹⁴⁾ 이 그림에서도 2상스테인리스강에 질소를 첨가하면 γ 상이 고온에서 안정화되고, α 단상을 나타내는 온도 또한 고온으로 이동하고 있음을 볼 수 있다.

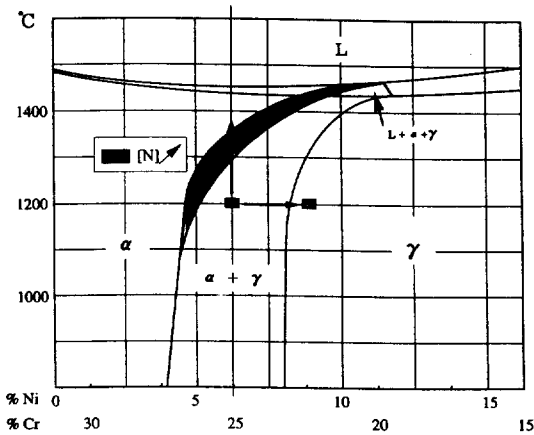


Fig. 1 Schematic effect of nitrogen addition on the pseudo binary Cr-Ni 68%Fe phase diagram.¹³⁾

그림 2는 고온에서 질소 고용에 의한 2상스테인리스강의 조직변화를 관찰하기 위해, 120°C에서 1kg/cm²의 질소가스 압력을 주어 24시간 동안 열처리한 시료의 표면조직 사진으로 오른쪽에 검게 보이는 부분이 α 상이다. 고온에서 장시간 가압처리한 결과, 불활성 기체인 질소가스가 $N_2 \rightarrow 2[N]$ 으로 변화하고^{5), 15)} 여기서 발행한 N원자가 표면에서 확산 침투되어 시료 표면층의 질소 고용량이 증가하기 때문에 표면층 조직이 $\alpha + \gamma$ 의 2상에서 γ 단상으로 변태됨을 볼 수 있다. 이러한 현상은 그림 1의 상태도에서와 같이 시료표면부에 질소의 고용량만을 증가시키기 때문에 시료 표면부의 Cr_{eq}값은 변화가 없으나

Ni_{eq}값이 증가되어 %Ni선이 우측으로 이동하여, $\alpha + \gamma$ 의 2상 구역에서 γ 단상구역으로 이동되는 것과 일치한다. 또한 그림 2에서 시료를 고온에서 장시간 열처리한 결과 γ 단상 영역에서는 결정립이 상당히 조대화 되었으나, 2상구역에서는 고온에서 장시간 열처리하여도 α 상과 γ 상의 상호간섭에 의해 결정립이 크게 성장하지 않았다.

침입형 원소인 질소는 bcc나 fcc격자의 사면체(tetrahedral)와 팔면체(octahedral)의 침입형공간에 고용된다. 이러한 침입형공간의 크기는 bcc의 경우 사면체공간이 팔면체공간 보다 넓고(반경: $d_{bcc, tetra} = 0.348 \text{ \AA}$, $d_{bcc, octa} = 0.192 \text{ \AA}$), fcc는 팔면체공간이 사면체공간보다 넓다(반경: $d_{fcc, octa} = 0.518 \text{ \AA}$, $d_{fcc, tetra} = 0.281 \text{ \AA}$). 따라서 fcc의 팔면체공간이 bcc의 사면체공간보다 질소를 고용할 수 있는 공간이 넓기 때문에 γ 상의 질소의 고용도가 α 상 보다 높다.¹⁵⁾ 오스테나이트계 스테인리스강의 경우 질소의 고용도는 25%Cr의 경우 약 1.5wt.% 이상까지도 고용될 수 있다고 알려져 있다.¹⁵⁾ 따라서 본 실험에 사용한 수퍼 2상스테인리스강에서도 Cr량이 25% 이상이고 약 55% 이상의 γ 상을 함유하므로 질소의 고용도가 높을 것으로 생각된다.

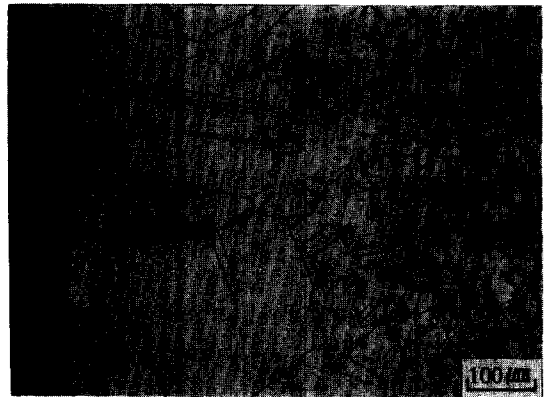


Fig. 2 Optical micrograph of super duplex stainless steel after nitrogen surface treatment at 1200°C for 24hrs.

3.2 열처리 조건이 질소 고용도에 미치는 영향

대표적인 침입형원소인 탄소의 경우 열처리 조건에 따라 강표면에서 침탄 및 탈탄 현상을 쉽게 관찰할 수 있다. 따라서 동일한 침입형 원소인 질소 또한 이러한 현상이 있을 것으로 생각되어 열처리 분위기, 온도 및 시간을 변화시켜 고질소 수퍼 2상스테인리스강의 침질 및 탈질 현상을 관찰하였다.

그림 3은 1050℃~1350℃에서 질소가스, 알곤가스 및 진공분위기에서 열처리하였을 때 시료에 고용된 질소의 량을 나타낸 것으로서, 열처리온도가 비교적 낮은 1050℃에서의 질소고용도는 진공분위기에서 낮게, 질소가스분위기에서 높게 나타나지만 질소 고용도의 차이는 적으며, 알곤가스 및 진공분위기에서는 시간변화에 따라 질소고용도의 변화가 거의 없었다. 1200℃의 질소가스분위기에서 30분간 열처리한 시료는 약 0.36wt.%까지 질소의 고용도가 증가하고, 알곤가스 분위기에서는 거의 변화가 없었으나 진공분위기에서 60분간 열처리하면 약 0.12wt.%까

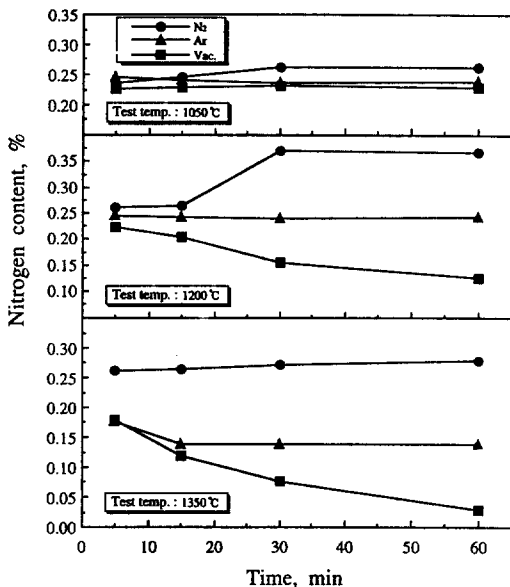


Fig. 3 Changes in the nitrogen content with annealing time at various temperatures and atmosphere in the super duplex stainless steel.

지 질소고용량이 감소하는 탈질현상을 볼 수 있었다. 그러나 온도가 비교적 높은 1350℃의 질소가스 분위기에서는 시간 경과에 따른 질소의 고용량은 거의 변화하지 않았으나, 알곤가스 분위기에서는 시간이 경과함에 따라 질소의 고용량이 뚜렷히 감소하였으며, 특히 진공분위기에서 60분간 열처리하면 질소의 고용량이 0.025wt.%로 탈질 현상이 심하였다.

그림 4는 열처리온도 및 분위기가스 변화에 따른 표면부 조직변화를 나타낸 사진으로써, (a)는 1050℃의 질소분위기에서 열처리한 시료이며 60분간 열처리하여도 표면층의 조직변화는 없었다. 그러나 1200℃의 질소가스 분위기에서 60분간 열처리한 경우에는 표면층은 (b)에서와 같이 γ 단상을 나타내었다. 1350℃의 질소가스 분위기에서는 표면부 및 α 결정입계에서 (c) 사진과 같이 구형의 γ 상이 나타나고, 알곤 가스분위기에서는 (d)에서와 같이 α 상입계에 필름상의 γ 상 및 α 상 입내에 Widmanstätten 형태의 γ 상이 존재하고 있다. 앞의 질소분석값 및 상태도상에서 관찰한 바와 같이 열처리 온도가 비교적 낮은 1050℃의 질소가스 분위기에서는, 질소원자의 확산에 따른 침질현상이 뚜렷하지않아 현미경 조직 및 질소함량도 큰 변화가 없었다. 그러나 1200℃의 질소가스 분위기에서 열처리하면 시간경과에 따라 질소의 고용량이 크게 증가하였는데, 이는 표면부의 침질로 인하여 고용된 질소원자가 표면층의 조직을 $\alpha + \gamma$ 의 2상에서 γ 단상으로 변화시켰기 때문이라고 생각된다. 특히 질소가스 분위기에서 열처리한 경우 1350℃보다 1200℃에서 처리한 시료가 질소의 고용량이 더 높게 나타난 것은 1200℃는 $\alpha + \gamma$ 의 2상이 공존하는 구역이기 때문에 α 단상 구역인 1350℃에서 보다 질소의 고용도가 더 크기 때문¹⁵⁾이라고 생각된다. 한편 그림 3에서 α 단상 구역인 1350℃의 질소가스 분위기에서 열처리한 시료는 열처리시간을 변화시켜도 질소의 고용량이 크게 변하지 않았다. 그 이유는 그림 4(C)의 조직관찰에서 α/α 의 입계에 질소가 충분히 고용된 구형의 γ 상이 존재하기 때문이라고 생각된다. 그러나 1350℃의 알곤가스 분위기

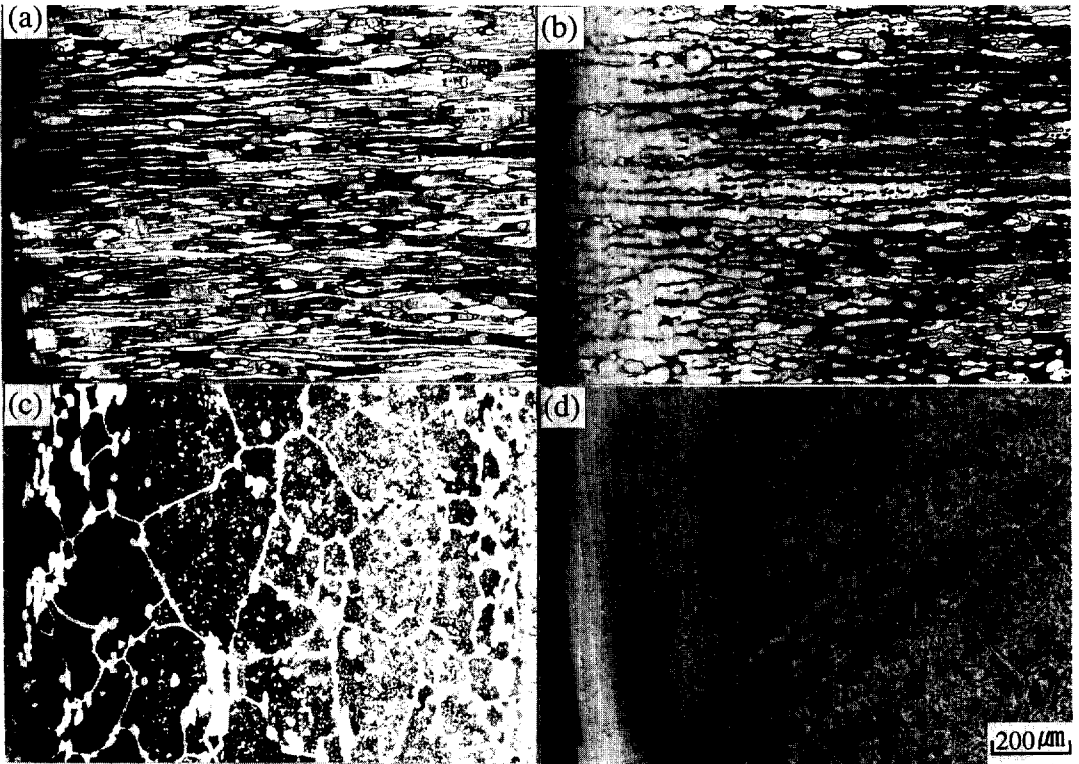


Fig. 4 Optical micrographs showing the effect of various atmosphere on the ferrite and austenite morphologies in the super duplex stainless steel.

- | | |
|--|--|
| (a) 1050°C - 60min, N ₂ gas | (b) 1200°C - 60min, N ₂ gas |
| (c) 1350°C - 5min, N ₂ gas | (d) 1350°C - 5min, Ar gas |

및 진공 분위기에서 열처리하면 탈질 현상이 심하게 나타나서 60분간 열처리하면 아르곤가스 분위기에서는 약 0.13wt.%, 진공분위기에서는 0.025wt.%의 질소 고용량을 나타내었고, 그림 4(d)와 같이 5분만 경과하여도 표면층이 α 단상으로 변화되었다.

앞에서도 관찰한 바와같이 질소가스 및 아르곤가스와 같은 단일가스 분위기에서 열처리한 수퍼 2상 스테인리스강은 표면층에 침질 및 탈질 현상이 생기므로, 질소가스 및 아르곤가스가 혼합된 혼합가스 분위기에서 열처리하였을 때 시료 표면층의 침질 및 탈질 현상을 조사하였다. 그림 5는 1050°C, 1150°C 및 1250°C

에서 시료를 질소가스와 아르곤가스가 혼합된 분위기에서 20분간 열처리하였을 때, 질소가스 함량변화에 따른 시료표면의 γ 상의 체적분율 변화를 나타낸 것이다. 여기서 γ 상의 체적분율은 X선 회절분석을 통해 얻은 값이다. 20% 및 100% 질소가스 함량에서 표면층의 γ 상의 체적분율은 각각 42% 및 45%로 질소가스 함량을 증가시켜도 γ 상의 체적분율이 거의 변하지 않고 $\alpha+\gamma$ 2상으로 존재하였지만, 1150°C에서는 20% 및 100% 질소가스 함량에서 표면층의 γ 상의 체적분율은 각각 32% 및 53%로 질소가스 함량을 증가시키면 γ 상의 체적분율이 증가하였다.

한편 1250℃에서는 질소가스 함량 증가에 따라 γ 상의 체적분율은 크게 변하여 질소가스 함량 20%에서는 표면층은 α 단상 조직을 나타내었지만 질소가스 함량 80%에서는 γ 단상 조직을 나타내었다. 그림 6은 1250℃의 질소가스와 아르곤가스가 혼합된 분위기에서 20분간 열처리한 시료의 표면조직 변화를 나타낸 것으로서 (a)는 질소가스 함량이 100%로 표면층은 γ 단상을 나타내며, (c)는 20% 질소가스 분위기에서 열처리한 사진으로서 탈질 현상으로 인하여 표면층이 α 단상으로 변한 것이다. 이와 같이 본 시료는 상태도상으로는 1250℃에서 $\alpha+\gamma$ 2상으로 존재하지만, 침질 및 탈질 효과에 의해 표면층의 조직이 변하고 있다.

이상의 결과에서 α 상과 γ 상의 2상 혼합조직을 갖는 슈퍼 2상 스테인리스강은 열처리분위기 변화에 따라 침질 및 탈질 현상이 생겨서 시료의 질소함량이 크게 변하며, 이에 따라 표면층 조직도 γ 단상, α 단상 및 $\alpha+\gamma$ 상의 함량변화를 일으킬 수 있다. 특히 2상스테인리스강의 실용상의 열처리온도인 1100℃~1150℃에서도 분위기가스의 종류 및 함량변화에 따라 시료표면의 α 상과 γ 상의 평형 체적분율이 변하기 때문에 열처리분위기 선택에 세심한 주의가 필요

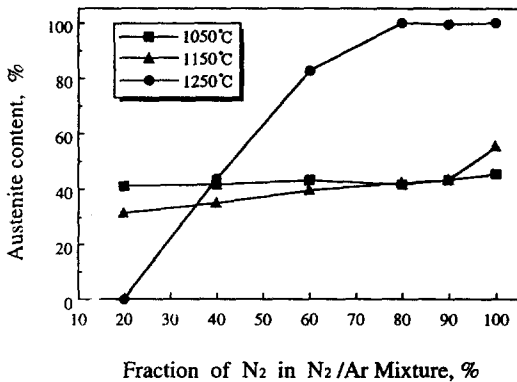


Fig. 5 Surface austenite content versus fraction of argon in N_2/Ar gas mixture after annealing at various temperatures for 20 min in the super duplex stainless steel.

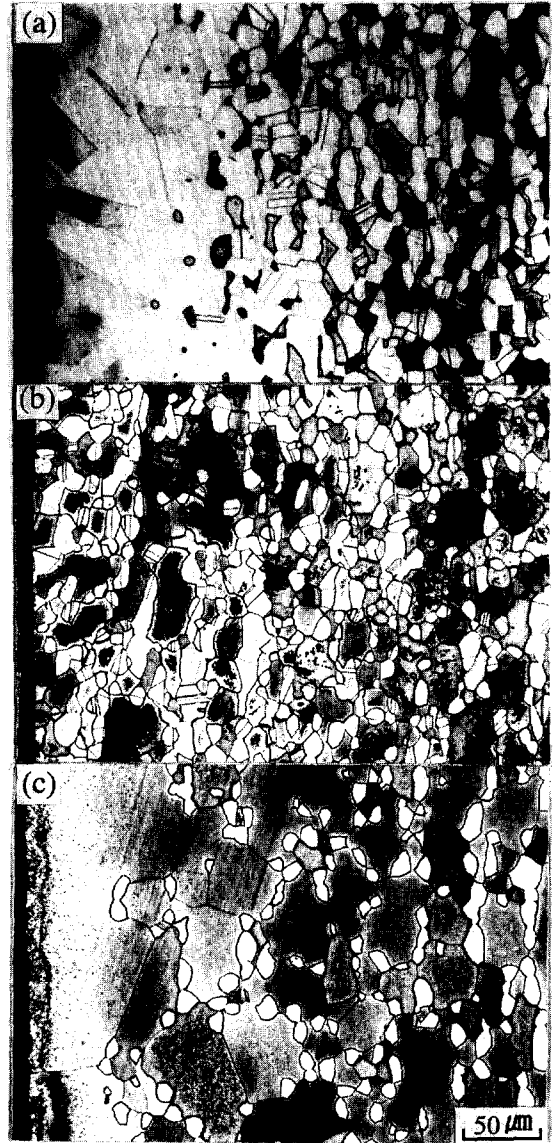


Fig. 6 Optical micrographs showing the ferrite and austenite morphologies after heat treating at 1250℃ for 20min in the various atmosphere. (a) 100% N_2 (b) 40% N_2 (c) 20% N_2

하다. 이러한 열처리분위기 변화에 따른 표면조직과 질소함량 변화는 시료의 기계적 성질과 내식성에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

3.3 경도 및 부식특성에 미치는 분위기 가스의 영향

그림 3 및 그림 4에서 알 수 있었던 바와같이 1050℃에서는 열처리 분위기 변화에 따라 시료의 질소함량 및 γ 상의 체적분율은 큰 변화가 없었다. 따라서 1050℃에서 침질 및 탈질 현상을 명확히 규명하기 위하여, 질소가스 및 진공분위기에서 시료를 60분간 열처리한 후 표면에서부터 내부로 깊이 증가에 따른 γ 상의 경도변화를 구하여 그림 7에 나타내었다. 질소가스 분위기에서 열처리한 시료는 표면에서 약 150 μm 까지는 Hv 305이상의 높은 경도값을 나타낸 후 내부로 갈수록 급히 감소하여 약 500 μm 에서 Hv 260으로 일정한 경도값을 나타내고 있다. 반면에 진공분위기에서 열처리한 시료는 표면층 부근에서 약간의 경도변화를 보이지만 대체로 Hv 260 정도를 나타내고 있다. 질소가스분위기에서 열처리한 시료가 진공분위기에서 열처리한 시료보다 표면층에서의 경도값이 약 Hv 40이상 높게 나타난 것으로 보아 상대적으로 낮은 열처리 온도인 1050℃의 질소가스 분위기에서도 γ 상에 질소원자가 확산 침투되어 고용된다고 생각된다.¹⁷⁾ 따라서 수퍼 2상 스테인리스강과 같이 Cr함량이 25%로 비교적 높은 시료에서는 질

소의 고용도가 높아서 상대적으로 낮은 열처리 온도인 1050℃의 질소가스 분위기에서도 충분히 침질이 진행된다고 생각된다. 그러나 진공분위기에서는 확산되어 밖으로 빠져나오는 질소량은 상대적으로 적다고 생각된다.

그림 8은 1250℃에서 90%N₂/Ar 및 20%N₂/Ar의 혼합가스 분위기에서 20분간 열처리한 시료를 0.1N H₂SO₄+0.05N HCl용액에서 potentiodynamic 시험한 결과이다. 1250℃에서 질소가스를 90% 첨가하여 열처리한 시료는 그림 5에서의와 같이 표면층이 γ 단상이었고, 질소가스를 20% 첨가한 시료는 표면층이 α 단상이었다. 표면층이 α 단상일 때보다 γ 단상일 때의 임계전류 밀도가 낮은 것으로 보아, 고용된 질소가 내식성을 향상시킨다는 것을 알 수 있다.

1050℃ 및 1250℃의 질소가스와 알곤가스가 혼합된 분위기에서 20분간 열처리한 시료를 50℃로 유지된 10%FeCl₃+1/16N Cl⁻용액에서, 60시간 부식시킨 후 무게감량을 조사한 결과를 그림 9에 나타내었다. 1050℃에서 열처리한 시료는 무게변화가 크게 나타나지 않았으나, 1250℃에서 열처리한 시료는 알곤가스량이 증가할수록 무게감량이 크게 증가하

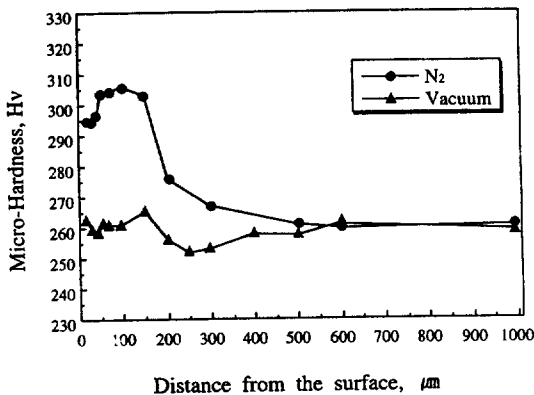


Fig. 7 Hardness of austenite phase as a function of distance from the surface in the super duplex stainless steel. Annealed at 1050℃ for 60 min.

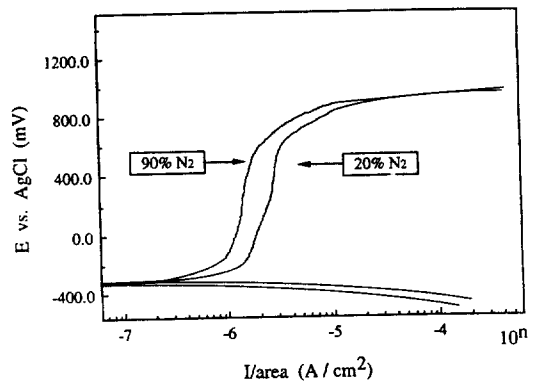


Fig. 8 Effect of annealing atmosphere on the anodic polarization curves of the specimen in the solution of 0.1N H₂SO₄+0.05N NaCl. Annealed at 1250℃ for 20min.

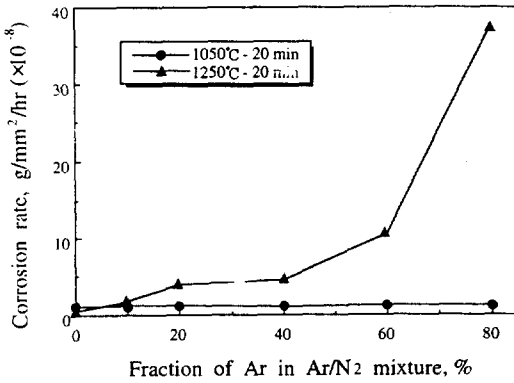


Fig. 9 Corrosion rate as a function of fraction of argon in Ar/N₂ gas mixture in the super duplex stainless steel in the solution of 10% FeCl₃+1/16Cl⁻ at 50°C for 60 hrs.

였다. 이러한 현상은 앞의 조직사진에서도 나타낸 것과 같이 알곤가스량이 증가하면 표면층의 조직이 α 단상으로 변하여, 내식성이 저하되기 때문이며, 질소 가스 함량이 증가 될수록 표면층이 γ 단상으로 존재하기 때문에 무게감량은 낮게 나타나고 있다.

그림 10은 질소가스, 알곤가스 및 진공분위기에서 1150°C에서 30분간 열처리한 시료를 25gCrO₃+133mlCH₃COOH+7mlH₂O용액에서 전해 부식한 표면사진으로서, γ상이 선택 부식되어 α상만을 나타내고 있으며, 질소가스분위기에서 열처리한 시료의 α상이 (a)에서와 같이 가장 내식성이 좋으며, 진공분위기에서 열처리한 시료 표면층의 α상은 (c)에서와 같이 부식에 의해 표면에 요철부위가 존재함을 볼 수 있다. 이것은 질소의 고용도가 낮은 α상도 분위기가스의 영향을 받아 표면층에 질소의 고용도의 차이가 생기고 이로 인해 γ상 뿐만 아니라 α상의 부식특성에도 영향을 미치기 때문에 나타나는 현상이라 생각된다.

4. 결 론

질소를 0.24wt.% 함유한 수퍼 2상스테인리스강

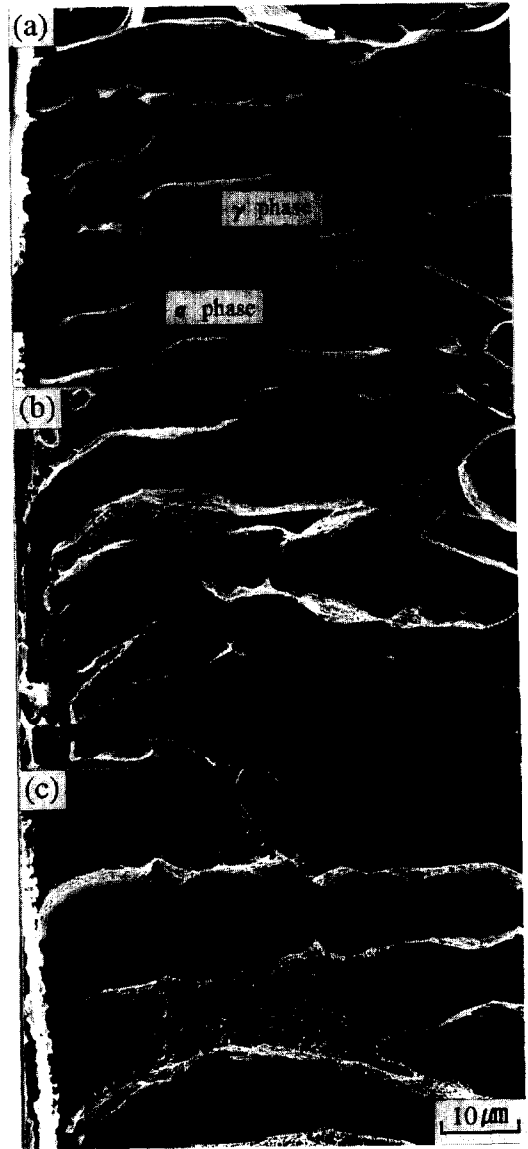


Fig. 10 SEM micrographs showing the corrosion morphologies of ferrite phase after annealing at 1150°C for 30min in the various atmosphere.

(a) N₂ gas (b) Ar gas (c) Vacuum

을 1050°C~1350°C에서 열처리 분위기를 질소가스, 알곤가스 및 진공분위기로 변화시켜 열처리하

였을 때 시료표면의 질소고용도, 조직변화, 경도특성 및 내식성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 질소가스 분위기에서 열처리한 시료는 질소고용량이 높게 나타났으며 최대 질소고용량은 1200℃에서 0.36wt.%로 나타났다. 진공분위기에서는 열처리 온도상승에 따라 시료의 질소고용량이 크게 감소하여 1350℃에서는 0.025wt.%로 낮게 나타났다.
- (2) 알곤과 질소가 혼합된 가스분위기에서 열처리한 경우 질소가스고용량의 증가에 따라 시료 표면층은 γ 상의 체적분율이 증가하였으며, 1250℃에서 80% N₂가스 이상에서는 시료 표면층은 γ 단상을 나타내었으며 20% N₂가스 이하에서는 α 단상을 나타내었다.
- (3) 1050℃에서 질소 및 진공분위기에서 열처리한 시료의 γ 상의 표면층 경도는 진공분위기에서는 내부와 비슷하였지만, 질소가스 분위기에서는 진공분위기에서 보다 Hv 40 이상 높게 나타난 것으로 보아 질소분위기에서 열처리하면 표면침질 현상이 크게 나타나지만, 진공분위기에서는 시료의 탈질 효과가 상대적으로 적은 것으로 판단된다.
- (4) 표면층이 γ 단상인 시료가 α 단상인 시료보다 내식성이 우수하였으며 $\alpha + \gamma$ 상의 표면조직을 갖는 시료에서도 질소가스 분위기에서 열처리한 시료의 α 상이 진공 또는 알곤가스 분위기에서 열처리한 시료의 α 상보다 내식성이 우수하였다.

참고문헌

1. B.Soylu and R.W.K.Honeycombe : Materials Science and Technology, Vol.7, Feb., 1991, p137
2. Masaaki Igarashi and Hiroo Ohtari : 熱處理, 34卷, 4號, 1994, p222
3. J.O.Nilsson : Materials Science and Technology, Vol.8, Aug., 1992, p685
4. Haruhiko Kajimura, Kazuhiro Ogawa and Hiroo Nagano : 鐵 と鋼, 第11號, 1989, p150
5. D.R.Anson, R.J.Pomfret and A.Hendry : ISIJ International, Vol.36, 1996, No.7, p750
6. D.R.Anson and A. Hendry : "4th International Conference Duplex Stainless Steel", Vol.1, Glasgow, Scotland, 13~16, November, 1994, Paper 103
7. H.J.Niederer and G.W.Overbeck : "4th International Conference Duplex Stainless Steel", Vol.1, Glasgow, Scotland, 13~16, November, 1994, Paper 99
8. 坂本 徹 ; 金屬, 2月號 (1986) p30
9. Akihiko Hoshino : ISIJ, 第72卷, 第16號, 1986, p129
10. D.B.Rayaprolu and A.Hendry : Materials Science and Technology, Vol.4, Feb., 1988, p136
11. H.Berns and S.Siebert : "9th International Congress on Heat Treatment and Surface Engineering and 5th French Open International Conference on Heat Treatment", NICE-ACROPOLIS, France, September, 1994, p175
12. H.Berns and S.Siebert : "4th International Conference Duplex Stainless Steel", Vol.1, Glasgow, Scotland, 13~16, November, 1994, Paper 120
13. C.F.G.Baxter and G.R.Warburton : "4th International Conference Duplex Stainless Steel", Vol.2, Glasgow, Scotland, 13~16, November, 1994, Paper 18
14. J.Charles : "4th International Conference Duplex Stainless Steel", Vol.1, Glasgow, Scotland, November, 1994, Paper KI

15. J.Romu and H.Haenninen : "High Nitrogen Austenite Stainless Steel Manufacturing Technologies", Helsinki, Univ. of Technology, Espoo, Finland, 1993, Pp3~36
16. 小夜 長門, 田島 至, 澤田 滋, 梶原 正憲, 菊池 實 : 鐵と鋼, 第78年, 1992, 第1號, p178
17. Seiya Wada and Yoshimitsu Ohta : 日本ステンレス 技報, No.24, 1989, p13