J. of the Korean Socisty for Heat Treatment
Vol. 11, No. 4 December, pp. 258~267
《論 文》

오스테나이트계 고크롬강의 가스질화거동에 관한 연구

金榮熙 · 金度暎
동아대학교 공과대학 금속공학과

GasNitriding Bechavior Austenitic High Cr Steels

Y. H. Kim, D. K. Kim
Department of Mechanical Engineering, University, Busan, 604-714

ABSTRACT

For the purpose of investigating the growth characteristics and composition of nitrides, gas nitridings of the austenitic stainless steel, STR 36 heat resisting steel and martensitic stainless steel are investigated at the temperature ranges between 500°C and 675°C for 5hours under the 75%NH_3+5%CO_2+20%Air gas atmosphere. When gas nitriding the austentic stainless steel and STR 36 heat resisting alloy, the abnormal growth behavior of compound layer deviating from the conventional diffusion law with increasing temperature appears, while the compound layer of martensitic stainless steel shows the normal diffusional growth behavior.

From the examination of microstructure, X-ray diffraction and hardness test, it is concluded that the abnormal growth behavior of compound layer with increasing temperature induces from the formation and dissolution of CrN and γ'-Fe_4N at the nitriding temperature ranges of 600~650°C.

1. 서 론

최근 급격한 과학 기술의 발전에 수반하여 기계 부품에 대한 재료의 고기능화 요구가 높아 이를 충족시킨 재료의 출현이 요망되고 있다. 그러나 재료의 단독 사용으로는 내마모성, 내식성, 내열성 등의 특성을 충족시키는데 있어 한계에 직면하고 있다. 이를 극복하기 위해 재료의 표면에 여러 방법의 처리를 실시하여 고기능을 부여함으로써 표면을 개질, 개선하려는 표면 개질 제어기술이 다각도로 연구되고 있으며, 스테인리스강에 있어서도 고온이나 고압상태에서 작동되는 밸브류와 노즐류 등의 부품에 내마모성, 고온내산화성을 부여하기 위한 표면 경화 처리를 실시하고 있다. 이러한 표면개질 기술 중에서 오스테나이트계 스테인리스강의 가스질화처리시 약 600°C 전후에서 질화 속도가 변화하는 현상이 나타난다. 즉 600°C이전까지 질화 속도가 촉진되다가 그 이상의 온도에서 650°C까지 급격한 질화속도의 감소가 일어나고 다시 650°C 이상에서 질화속도가 촉진되는 현상이 나타난다.

이러한 처리온도에 따른 질화 속도의 비정상적인 현상에 대해 명확한 설명은 없으며 다만 몇가지의 학설이 제기되고 있다.

먼저 γ-α 변태설로서 1972년 Leburun, Michel 및 Gantois[1] 그리고 1975년 Edenhofer[2]에 의하여 보고되었다. 이 설은 18Cr-8Ni의 오스테나이트 스테인리스강이 질화되는 경우 우선적으로 Cr이 질화되어 질화물을 형성하고 질화층에서의 Fe-Ni 합금계에 기초를 둔 오스테나이트의 변태에 의한

패라이트의 석출의 영향으로 질화속도가 촉진된다. 그러나 약 600℃ 이상에서는 γ상이 안정화되어 γ단상에서는 질화가 진행하여 질화속도가 급격히 저하되는 것으로 추상하고 있다.

또한 Billin과 Hendry에 의한 미소균일설[7]은 STS 316강의 질화시 표면직하에 형성된 γ′-(Fe,Ni)$_4$N 상에서 발생하는 미세한 크랙을 통과하는 암모니아 분자의 침입이 원인이 되고 있다. 600℃선후의 질화의 촉진과 감소 현상이 각각 다른 현상으로 나타난다는 설이다.

그리고 Kuniyasu Gemma와 Mamoru Kawakami[8]는 600~650℃ 온도범위에서 오스테나이트상의 출현과 γ′-Fe$_4$N상의 감소 및 CrN상에 의해서 질화층 성장속도가 감소된다고 주장한다.

본 연구에서는 질화 처리 온도에 따른 위의 질화층 성장의 비정상적 현상이 오스테나이트계 스테인리스강 뿐만 아니라 Cr 함량이 높은 강 중의 하나인 STR 36 내열강 및 다소 Cr함량이 낮은 마르텐사이트계 스테인리스강에 대한 질화 처리시 질화 속도를 상호 비교함으로써 금속조직 및 합금성분이 질화 속도에 미치는 영향을 관찰하였고, 또한 생성된 화합물층의 X-선회절분석을 통해 형성된 상의 규명과 경도 특성을 조사하여 비정상적인 질화층 성장의 거동을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 시 료

본 연구에 사용된 시료는 시판용 스테인리스강으로서 STS 304, 310, 316와 STS 410, 420J2 그리고 STR 36강의 16mmφ의 봉재를 10mm 두께로 절단하여 표면을 연마후 사용하였다. X-선 발광분석기로 분석한 각시료의 화학성분은 Table 1에 나타내었다

2.2. 가스질화

가스질화에 사용한 로는 원활한 가스교반을 위해 상, 하부에 팬이 부착되어 있고 가스를 하부에서 주입하는 핏트형로(300mmφ×1000mmH, 35Kw)를 사용하였다. 가스질화 처리시 분위기 가스는 NH_3+CO_2+Air의 혼합 가스를 사용하였으며, 총 유량은 1.2㎥/hr로 일정하게 하였다. 가스조성비는 75%NH_3+5%CO_2+20%Air로 설정하여 500, 525, 550, 575, 600, 625, 650 및 675℃에서 각각 5시간 동안 처리하여 수용성 냉매에 급냉하였다. 질화시 분해되고 남은 암모니아 함량은 배기가스를 채취하여 암모니아 뷰렛(buret)으로 측정하였다.

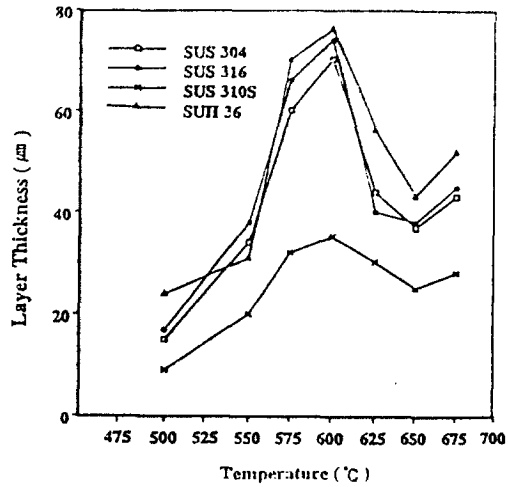

Fig. 1 Relation between nitrided layer thickness and nitriding temperatures in the gas atmosphere 75%NH_3+5%CO_2+20% Air for various steels.

2.3 현미경 조직시험

질화처리한 시편의 화합물층 상조성 및 성상거동을 관찰하기 위해 광학현미경을 사용하였다. 시편은 현미경 조직시험용 시편 준비법에 따라 준비하였고, 상조성 및 성상거동을 세밀히 관찰하기 위하여 3% 나이탈 용액을 사용하여 부식하였다. 화합물층의 두께는 질화층이 균일하게 형성된 임의의 5부위를 선정하여 3회씩 측정한 후 그 평균치를 구하여 각 층의 성상거동을 관찰하였다.

2.4 X-선 회절시험

질화처리한 시편의 표면에 형성된 질화층의 구성 성분을 확인하기 위하여 X-선 회절시험기 (Rigaku, D/MAX-ⅡA)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 질화층 성장의 온도 의존성

550~675℃의 온도 범위에서 시험에 사용된 모든 강종들을 가스 질화 처리하여 처리온도에 대한 함수로서 질화층 두께의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 층의 두께는 강의 화학조성에 관계없이 600℃부근까지는 온도가 증가할수록 두꺼워지지만 그 이상 650℃까지는 오히려 얇아지고 650℃ 이상의 온도에서는 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 모든 시험 강종에서 나타나는 600℃에서의 최대값은 STS 304, 310, 316강 및 STR 36강의 질화층 두께의 최대값은 각각 70, 35, 74 alc 76㎛임을 알 수 있고, 반면 650℃에서의 최소값은 각각 37, 25, 38 그리고 42㎛를 나타내었다. 마르텐사이트계 스테인리스강인 STS 410 및 420J2강의 질화특성을 Fig. 2에 나타내었다. 이경우에는 처리온도가 증가할수록 일반 확산 법칙에 따라 질화층의 두께가 두꺼워짐을 알 수 있다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 고크롬강인 STR 36강의 경우에도 질화층의 두께 변화가 600℃ 전후의 온도에서 일반적인 확산 법칙에 따르지 않는 비정상적인 거동을 하는 것을 알 수 있다. Table. 1에서 모든 시험강종의 성분함량을 보면 오스테나이트계 스테인리스강과 내열강의 경우 Cr의 함량이 17~23%이고 마르텐사이트계 스테인리스강의 경우 11~12%이다. 따라서 Cr함량이 높은 강의 경우가 600~650℃의 온도범위에서 표면층에 CrN상의 형성, 오스테나이트의 출현 및 γ'-Fe_4N상의 감소 등에 의해 질화 속도의 변화 현상이 나타난다고 생각된다.

Table 1. Chemical composition of steels (wt.%)

Steels	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
STS 304	0.03	0.47	1.80	9.18	18.21	
STS 316	0.06	0.46	1.40	12.16	17.31	2.11
STS 310S	0.08	0.36	1.54	20.66	23.22	
STS 410	0.14	0.30	0.56	-	11.57	
STS 420J2	0.39	0.42	0.69	-	12.56	
STS 36	0.51	1.11	0.23	3.31	21.10	

3.2. 광학 현미경 조직

Fig. 3, 4, 5는 STS 304, STR 36, STR 420J2강을 500, 550, 600 및 650℃에서 각각 5시간 질화처리를 실시한 후의 질화층의 미세조직이다. Fig. 3의 경우 Fig. 1에서 확인한 바와 같이 질화층의 두께는 600℃에서 최대 두께를 나타내었고 650℃에서는 600℃에 비해 층 두께가 얇은 것을 알 수 있다. 질화층과 내부기지와의 뚜렷한 경계가 존재하고 질화층은 표면과 평행하고 균일한 층을 보여준다. 또한 시편 최표면부에 하나의 층이 형성되어있고 그 밑에 다른 층이 형성되어 질화층들은 2중층으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 특히

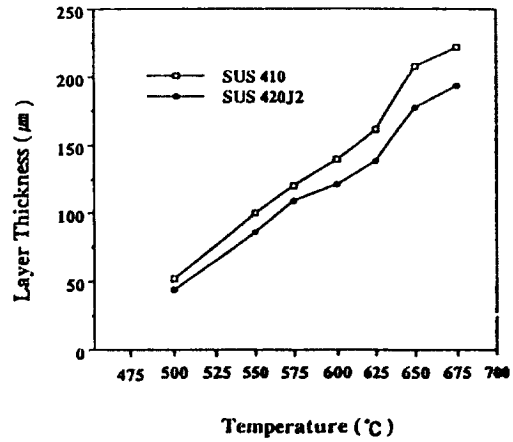

Fig. 2 Relation between nitrided layer thickness and nitriding temperatures in the gas atmosphere 75%NH_3+5%CO_2+20% Air for martensite stainless steels.

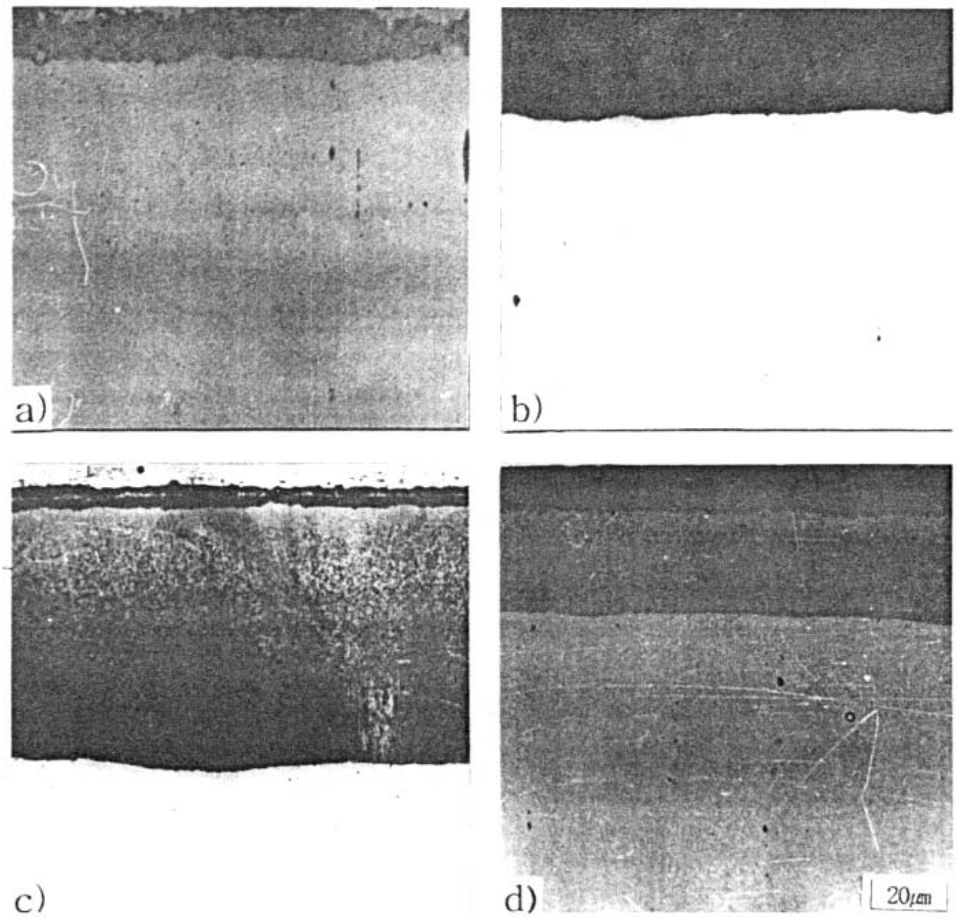

Fig. 3 Optical micrographs showing nitrided layer thickness of STS 304 stainless steel nitrided at various temperature for 5hrs in the atmospheres of 75%NH3+5%CO2+20%Air (a) 500℃ (b) 550℃ (c) 600℃ (d) 650℃

Fig. 3(a)(b) 및 (c)에서 보이는 거무스름하게 얼룩지게 보이는 층(사진에 표기하는 것이 좋을 것임)은 오스테나이트계 스테인리스강의 질화 속도가 증가하는 온도 영역에서 일반적으로 관찰된다. Fig. 4의 STR 36강은 Fig. 3에서와 같이 600℃에서 질화층 두께가 최대이고 질화층의 형태가 균일하고 또한 층과 내부 기지와의 경계가 뚜렷함을 알 수 있다. 반면 STS 304강과는 달리 최표면에 엷은 산화물층이 존재함을 알 수 있고 (a)~(c)에서 2중층이 뚜렷하게 구별되지 않는다. 한편 (d)에서 질화층 바로 밑 부분에 내부기지 조직의 입계 형태의 흔적이 약간 보임을 알 수 있다. STR 420J2인 Fig. 5에서는 최표면에 엷은 산화물층은 보이나 질화층과 기지와의 경계가 뚜렷하지 않고 질화층의 형태가 일정하지 않다.

Fig. 3, 4와는 달리 온도증가에 따라 질화층의 두께도 연속적으로 두꺼워짐을 알 수 있고, 650℃에서 층두께가 최대가 됨을 알 수 있다. 광학 현미경 조직의 관찰에서도 STR 36 내열강인 STS 304강과 마찬가지로 600℃에서 층두께가 최대가 되고 650℃에서 층 두께가 얇음을 알 수 있다. Cr 함량이 높은 오스테나이트계 스테인리스강인 STS 304강과 내열강인 STR 36강의 경우는 600~650℃의 온도범위에서 표면층에 오스테나이트

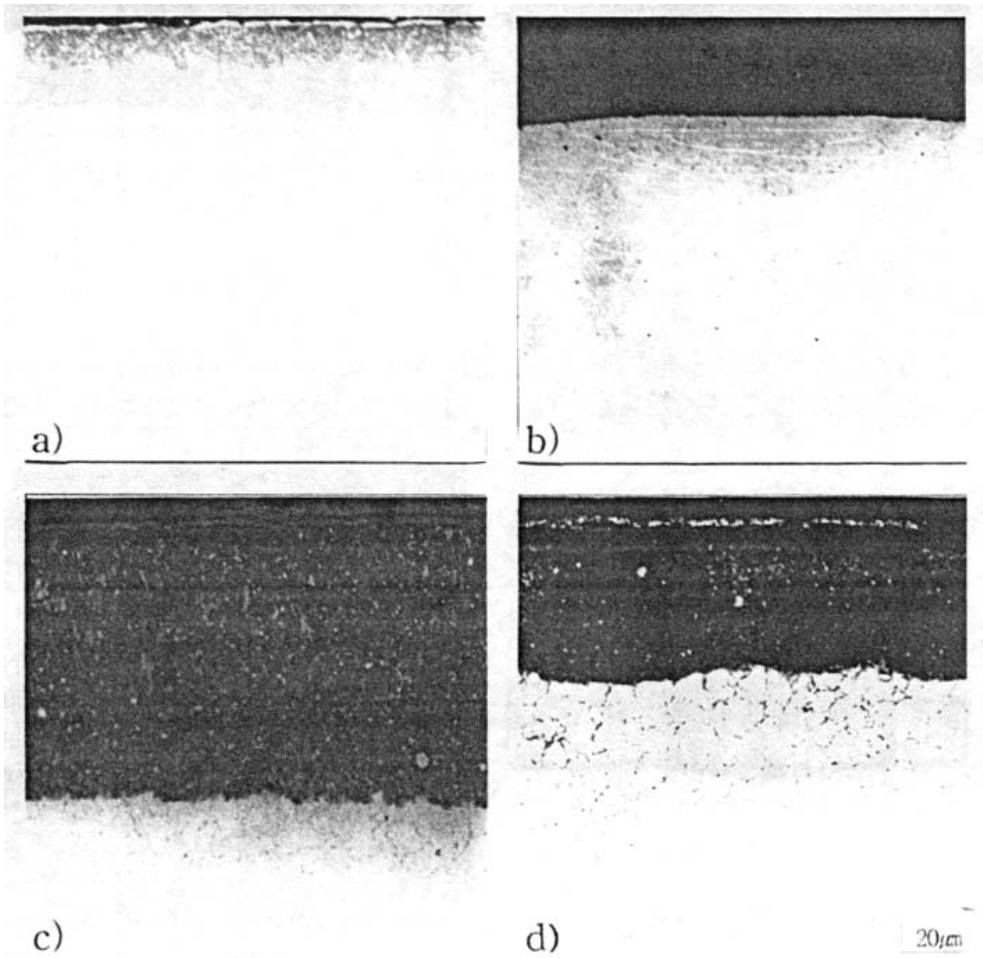

Fig. 4 Optical micrographs showing nitrided layer thickness of STS 420J2 stainless steel nitrided at various temperature for 5hrs in the atmosphere of75%NH_3+5%CO_2+20%Air (a) 500℃ (b) 550℃ (c) 600℃ (d) 650℃

상의 출현, CrN상의 증가와 γ'-Fe_4N상의 감소 현상 등이 확산장벽 역할을 해서 기지내부로의 질소의 확산을 방해하기 때문에 온도 증가에 따라 질화층 성장속도가 감소된다고 생각된다. 반면에 마르텐사이트계 스테인리스강인 STS 420J2강은 온도에 따른 층 두께 변화가 일반확산 법칙에 따른다는 것을 알 수 있다.

3.3. 질화층의 X선 회절분석

온도에 따라 질화처리한 시편의 표면에 형성된 질화층의 구성 성분을 규명하기 위해 STS 304, STR 36 및 STS 420J2강을 각각 600℃ 및 650℃에서 질화처리한 시편을 X-선 회절분석을 하여 그 결과를 Fig. 6, 7 및 8에 나타내었다. Fig. 6에서 STS 304강의 경우 X-선 회절분석결과에서 Fig. 3에서 확인한 질화층은 CrN과 γ'-Fe_4N상의 혼합조직이고, (b)에서와 같이 표면에서 모재내부 약 20μm지점까지 연마한 경우 CrN상의 회절 피크의 세기로부터 CrN상의 생성이 촉진됨을 알 수 있다.

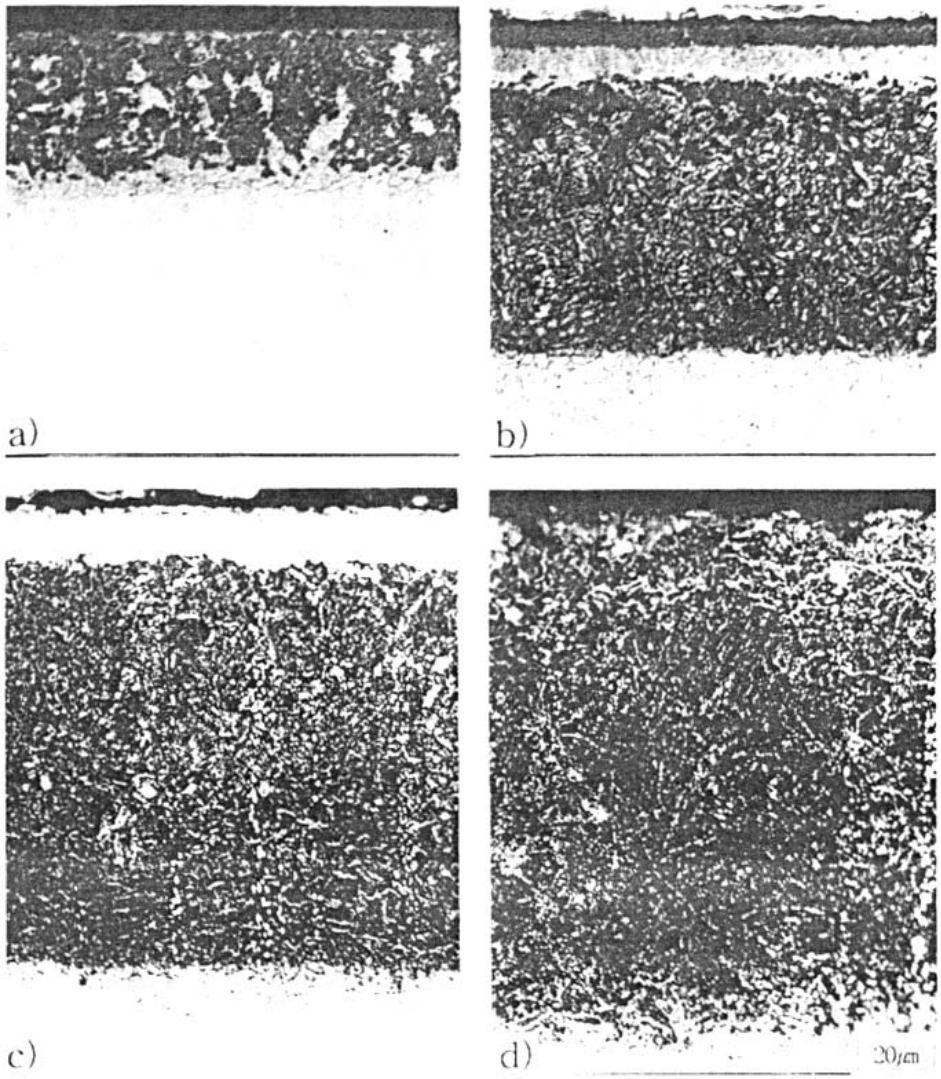

Fig. 5 Optical micrographs showing nitrided layer thickness of STR 36 steel nitrided at various temperature for 5hrs in the atmospheres of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air (a) 500℃ (b) 550℃ (c) 600℃ (d) 650℃

한편, 650℃와 비교하여 보면 600℃에 비해 CrN상의 회절 피크의 강도가 강하게 나타나는 반면 γ'-Fe_4N상의 경우 약해지는 것을 알 수 있다.

Fig. 7의 STR 36강의 경우 Fig. 4의 조직 사진에서 보았던 최표면부의 산화물층과 화합물층은 CrN, γ'-Fe_4N, FeN, Fe_3O_4상으로 존재한다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 7(b)의 경우 STS 304강의 경우와 마찬가지로 표면에서 20㎛내부 지점에서는 CrN상의 피크의 회절강도와 폭도 증가함을 알 수 있는 반면 γ'-Fe_4N상은 감소하고 FeN, Fe_3O_4상들은 관찰되지 않았다. 또한 650℃에서도 STS 304강과 같은 현상이 발견되었다. Fig. 8의 STS 420J2강도 역시 Fig. 5에서 나타난 것처럼 X-선 회절 시험 결과 화합물층을 구성하는 생성물

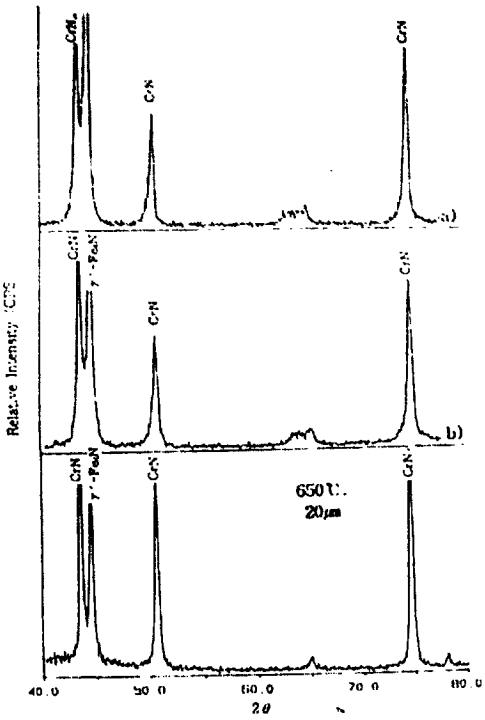

Fig. 6 X-ray diffraction patterns of STS 304 stainless steel nitrided at 600℃ for 5hrs in the gas atmosphere of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air
(a) surface (b) 20μm

로는 γ'-Fe_4N, Fe_3O_4 및 $Fe_{2-3}N$상 등이 발견되었으며 CrN상은 관찰되지 않으며 특징적으로 $Fe_{2-3}N$상의 피크 강도가 가장 강하게 나타남을 알 수 있고, 표면에서 20μm내부 지점에서는 γ'-Fe_4N상이 주로 형성되어 있음을 알 수 있다.

이상의 X-선 회절 결과로부터 STS 304강 및 STR 36강의 질화층은 CrN과 γ'-Fe_4N상이 존재하며, 이 상들의 양적 변화가 오스테나이트계 고크롬강의 질화처리시 600℃ 전후에서 일어나는 질화 속도의 대소 현상과 관계가 있다고 추정된다. 즉 STS 420J2강의 X선 회절분석 결과의 고찰에서 600℃의 질화층에 CrN상이 나타나지 않았고, STS 304강 및 STR 36강의 경우는 CrN상의 함량이 600℃에서보다 650℃에서 증가하고 γ'-Fe_4N상의 경우 600℃보다 650℃에서 회절 강도가 감소하는 현상 때문으로 사료된다.

600℃ 이전까지의 질화속도의 가속 현상은 Fe-Ni계 평형상태도에 입각한 종전의 질화층 내에 있어서의 γ-α변태설과는 그 원인에 있어서 양립될 수 없다. 즉 각 강의 미량화학성분을 무시하고 Fe-Ni-Cr 3원계 합금으로 간주하면 크롬질화물과 화합한 후 그 질화층의 기지가 오스테나이트 단상으로 변화하는 온도는 Fe-Ni계 평형상태도에서 STS 304, 310 및 316강은 각각 약 700, 500, 650℃로 추정되기 때문에 γ-α 변태설에 입각하면 각 강의 질화속도는 이들의 온도근처에서 감소될 것이다. 그러나 질소는 강력한 오스테나이트 안정화 원소이기 때문에 실제로 질화가 가속되는 온도 범위에서 질화층은 γ상으로 존재할 것이다. 실제로 위의 X-선 회절 분석에서 α상은 발견되지 않았

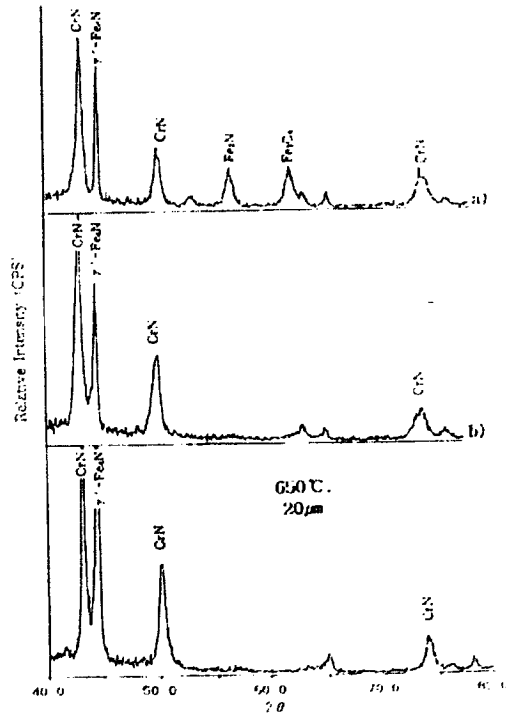

Fig. 7 X-ray diffraction patterns of STS 36 stainless steel nitrided at 600℃ for 5hrs in the gas atmosphere of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air
(a) surface (b) 20μm

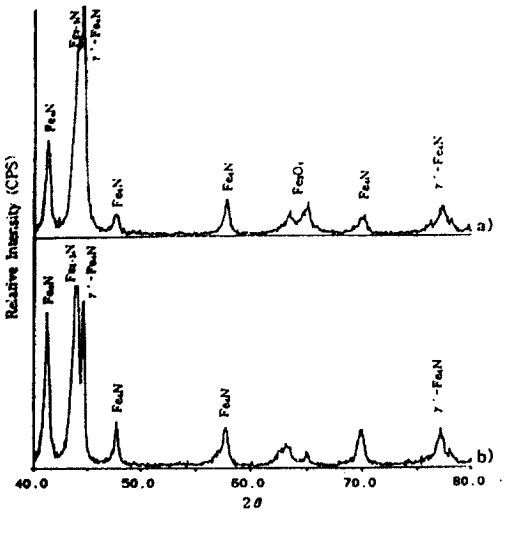

Fig. 8 X-ray diffraction patterns of STS 420J2 stainless steel nitrided at 600℃ for 5hrs in the gas atmosphere of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air
(a) surface (b) 20㎛

다. 또한 STS 304강의 경우 질화층 성장을 위한 활성화 에너지는 171kjmol^{-1}이다. 이 수치는 γ-Fe에서 질소확산을 위한 활성화에너지의 근사값이다. 더욱이 STS 304 및 316강에 형성된 질화층은 고용체에 질소와 오스테나이트를 구성한다고 알려져 있다.[5)6)] 따라서 오스테나이트 스테인리스강에서의 질화의 가속은 이들 강종의 질화층에 형성된 오스테나이트에서의 질소 확산의 본질적 증가에 의한 것이라고 결론지을 수 있다. 마찬가지로 고Cr강인 STR 36 내열강도 본질적인 강재 확산 기구로 설명할 수 있다. 한편 600~650℃의 온도범위에서의 질화속도의 감소는 질화온도가 Fe-Ni계에서 완전한 오스테나이트상 구역으로 높아질 때 생기는 현상이다. Kuniyasu Gemma 와 Mamoru Kawakami[4)]에 의하면 위 온도 범위에서는 오스테나이트가 γ′-Fe_4N와 CrN상과 공존한다. γ′-Fe_4N상은 650℃에서 거의 없어지기 때문에 질화 속도의 감소는 이 상의 소멸과 관련되어 있다. 오스테나이트의 출현과 γ′-Fe_4N상의 소멸은 Fe-Ni 상태도와 관련이 있을 것으로 판단된다. 왜냐하면 상태도에서 오스테나이트는 590℃에서 A_1변태를 하고 γ′-Fe_4N상은 680℃ 이상에서는 불안정하다. 오스테나이트가 질화층에 생기는 온도는 A_1점과 일치하지만 γ′-Fe_4N상이 사라지는 점은 650℃에서 또 하나의 공정점(γ→γ′+ε)이 있기 때문에 일치하지 않는다. 이 반응이 질화의 감소와 관계가 있다는 가능성을 주장했다. 위의 X-선 회절 분석결과 오스테나이트는 발견할 수 없었지만 γ′-Fe_4N와 CrN상은 확인하였다. 따라서 이들 상들의 생성과 소멸이 위의 현상들과 관계가 있다고 생각한다. 마르텐사이트계 스테인리스강의 경우는 600℃ 전후의 질화층 성장의 비정상 현상을 발견할 수 없었고 온도에 대한 질화속도가 일반 확산 법칙에 따른다는 것을 알 수 있었으며 이것은 Cr 함량의 차이에서 나타나는 질화층에서의 생성된 화합물상의 차이에 의한 것이라고 사료된다.

3.4. 질화층의 경도 특성

Fig. 9는 시험된 모든 강종들을 600℃에서 각각 5시간 가스 질화한 시편의 단면 경도 분포의 변화를 나타내고 있다. 오스테나이트계 스테인리스강인 STS 304, 310 및 316강의 경우 표면 질화층의 경도값은 각각 1200, 1150 및 1190Hv로 나타난 반면, 코어 경도값이 각각 250, 210 및 260Hv으로 나타났다. 내열강인 STR 36강의 경우 코어 경도값은 480Hv인 반면, 표면 질화층은 1140Hv으로 나타났다. 마르텐사이트계 스테인리스강인 STS 410, 420J2강의 경우는 코어 경도값이 각각 250과 260Hv이고 표면질화층의 최대 경도값이 각각 1140과 1100Hv로 나타내었다. STS 304, 316강 및 STR 36강들의 경우 표면층에서부터 높은 경도값을 유지하다가 표면으로부터 약 70㎛ 지점에서 갑자기 감소하였고, STS 310S강의 경우는 약 35㎛지점에서 급격히 감소하였다. 이는 Fig. 1에서의 질화층의 두께가 유사한 값을 나타내었고, Fig. 2와 3에서 보았던 질화층과 기지사이의 뚜렷한 경계를 의미함을 알 수 있다. 반면 STS 410, 420J2강의 경우는 표면으로부터 내부내로의 경도값이 점진적으로 낮아짐을 알 수 있다.

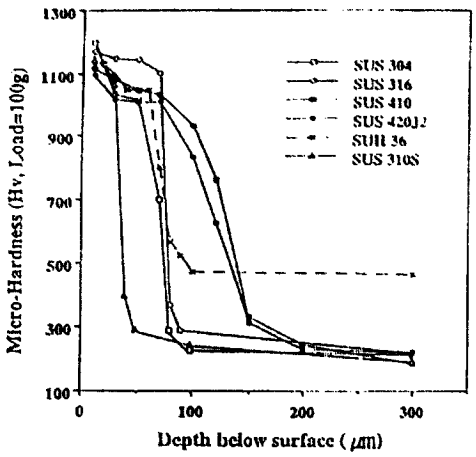

Fig. 9 Micro-hardness profiles of various steels nitrided at 600℃ for 5hrs in the gas atmosphere of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air

여러 처리온도에서 질화처리하였을 때의 단면강도의 분포를 나타낸 결과를 STS 304강의 경우는 Fig. 10에, STR 36강은 Fig. 11 그리고 STS 420J2강을 Fig.12에 나타내었다. Fig. 10의 STS 304강과 Fig.11의 경우 500에서 600℃로 온도가 증가할수록 질화층으로 간주되는 높은 경도값이유지되는 영역이 점점 깊어지는 반면 650℃에서는 다시 그 영역이 없어지고 표면에서 기지로의 경도값이 다소 완만하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 이미 X-선 회절 분석에서 확인했듯이

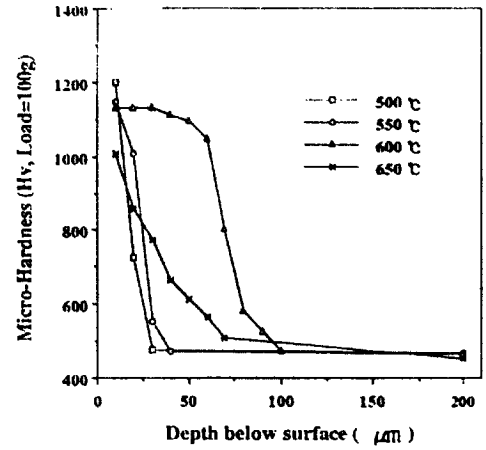

Fig. 11 Micro-hardness profiles as a function of nitriding temperature for STR 36 steel after nitriding 5hrs in the gas atmosphere of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air

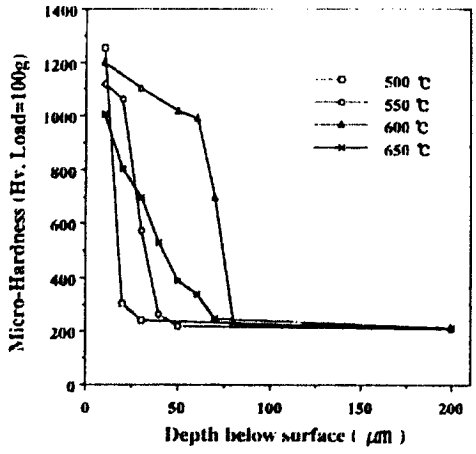

Fig. 10 Micro-hardness profiles as a function of nitriding temperature for STS 304 stainless steels oxynitriding at 5hrs in the gas atmosphere of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air

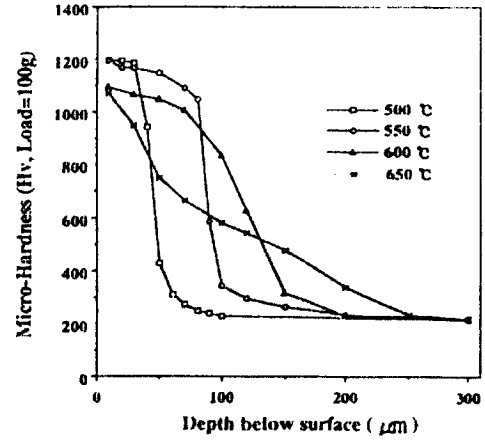

Fig. 12 Micro-hardness profiles as a function of nitriding temperature for STS 420J2 stainless steel after nitriding 5hrs in the gas atmosphere of 75%NH_3+5%CO_2+20%Air

600℃에서 650℃로의 온도 증가에 따라 CrN상의 증가, 오스테나이트의 출현과 γ′-Fe_4N상의 감소 등의 현상들이 화산장벽 역할을 해서 질소와 내부 화산을 방해하기 때문이라고 사료된다. Fig. 12에서 STS 420 J2강의 각 온도별 경도 분포 곡선을 나타내었다. 500℃와 550℃의 비교적 낮은 온도에서는 일반 화산 법칙에 따라 화산이 적게 일어나 각각 40 및 90㎛지점에서 경도값이 급격히 감소하는 현상이 보이고, 600℃와 650℃에서는 화산이 많이 일어나 비교적 완만한 경도 분포 곡선을 나타내고 있음을 알 수 있다. 위의 결과에서 처리온도가 증가할수록 최대 경도값이 오히려 감소한 것을 알 수 있다. 이는 일반 질화강의 질화처리에서도 관찰할 수 있는 현상으로서 온도가 높을수록 질소의 내부 화산이 용이해졌기 때문이며 곡선의 기울기가 완만해짐을 알 수 있다.

4. 결 론

NH_3+CO_2+Air 혼합가스 분위기에서 몇몇 고크롬강에 대하여 가스 질화처리시 온도에 따른 질화층의 성장 및 그 구성 성분의 형성 특성에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오스테나이트계 스테인리스강의 질화시 질화온도가 증가할수록 600℃까지는 질화층이 두꺼워지다가 이후 층두께가 얇아지고 650℃이후 다시 증가하였다.

2. 마르텐사이트계 스테인리스강의 경우는 오스테나이트계 강과 달리 질화온도가 증가할수록 질화층의 두께는 계속적으로 증가하였다.

3. 내열강인 STS 36강의 경우에도 오스테나이트계 스테인리스강에서 나타나는 온도에 따른 질화속도의 이상현상이 관찰되었다.

4. X-선 회절분석 결과 오스테나이트계 스테인레스강의 경우에는 표면부에는 주로 γ′-Fe_4N상이 나타났으며 ε질화물은 관찰할 수 없었다. 내부로 들어갈수록 CrN질화물의 양은 증가하였다. 반면에 내열강의 경우에는 표면부에 Fe_3O_4가 나타났으며 ε질화물도 관찰할 수 있었다.

5. 질화층의 경도분포측정시 마르텐사이트계 스테인리스강의 경우에는 오스테나이트계 및 내열강과는 달리 경도값의 완만한 감소를 보였다.

참 고 문 헌

1. J. P. Lebrun, H. Michel and M. Gantois : Me' m. Sci. Me' tall., 69(1972) 727.

2. B. Edenhofer : Harterei-tech. Mitt, 30, (1975) 204.

3. B. Billon and A. Hendry : Surf. Eng., 1(1975) 114.

4. K. GEMMA, Y. SATOH, I. USHOKU, and M. KAWAKAMI : "Report of the Japanes Society for Heat Treatment", 39th Meeting, Kogakuin Institute of Technology, Tokyo, Japan(The Japanese Society for Heat Treatment, Tokyo, 1994)67.

5. K. GEMMA and M. KAWAKAMI : High Temp. Mater. Proc., 8(1989) 205.

6. K. Gemma and M. Kawakami: J. Japan Inst. Metals, 52(1988) 701.