

## 열간가공 공구강에 형성된 침질탄화층의 잔류응력 측정

吳度阮·朴基源·李濟範·李相允  
 동아대학교 공과대학 금속공학과

### Measurements of Residual Stress in Nitrocarburised Layer Formed in Hot Work Tool Steel

Do-Won Oh, Ki-Won Park, Jun-Bom Lee and Sang-Yun Lee  
 Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714

#### ABSTRACT

This study has been performed to investigate into some effects of various amounts of CO<sub>2</sub> and CO gas added to the 50%NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub> based gas atmosphere on microstructure, hardness, chemical analysis and residual stress in the compound and diffusion layer of AISI H13 treated by gaseous nitrocarburising process.

The compound layer formed in the surface is composed of mainly  $\epsilon$ -Fe<sub>3</sub>(N,C) and small amount of  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N and cementite. The maximum hardness value obtainable from H13 steel is shown to be 1200 Hv and the effective hardening depth increases with increasing CO content from 1% to 4%. In the case of CO content over 4%, however, it decreases with increasing CO content. The composition profiles of nitrogen and carbon are found to be within the  $\epsilon$ -phase field located above the  $\epsilon+\gamma'$  phase field in the Fe-N-C diagram. It is shown that the maximum value of compressive residual stress of H13 steel treated in atmospheres of 50%NH<sub>3</sub>-(2,4)%CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-CO gas mixture is 48kg/mm<sup>2</sup> and the depth to which residual stress is in Compressive state is 90 $\mu$ m for the atmosphere 50%NH<sub>3</sub>-45%N<sub>2</sub>-4%CO<sub>2</sub>-1%CO gas mixture. It is consequently important to control the maximum value and size of compressive residual stress region in order to obtain desirable mechanical properties.

#### 1. 서론

가스침질탄화(gas nitrocarburizing) 처리는 철강재의 표면층에 용질원자를 확산시켜 내마모성, 피로강도, 내식성 등의 기계적 성질을 개선시킬 목적으로 행하는 화학 열처리(thermochemical treatment)로써 여러 가지 공업부품에 대해 광범위하게 적용되고 있다.<sup>1)2)</sup>

가스침질탄화 처리에는 오스테나이트계 침질탄화처리와 페라이트계 침질탄화처리<sup>3)</sup>의 두가지 방법이 있는데 이중에서 페라이트계 침질탄화처리는

570°C~590°C이 온도 범위에서 암모니아(NH<sub>3</sub>)-발열형가스(exothermic gas), 암모니아(NH<sub>3</sub>)-흡열형가스(endothermic gas), 암모니아-이산화탄소(CO<sub>2</sub>)-질소(N<sub>2</sub>)의 혼합가스 등의 분위기를 통하여 강재표면에 질소와 탄소를 확산시켜 부품표면에 화합물층과 그 아래로 확산층을 형성시키며 처리가 공석온도 이하의 낮은 온도에서 처리되기 때문에 침탄이나 침탄질화 처리에 비해 변형이 작은 특징과 함께 처리비용이 저렴하다는 장점을 가진다.<sup>4)5)</sup>

가스침질탄화 처리로 얻어진 화합물층은 단상의

$\epsilon$ 상이 형성되었을 때 기계적 성질이 가장 우수한 것으로 밝혀져 있는데, 특히 가스침질탄화 처리중에서 빈번히 발생하는  $\gamma$ '상은 내식성을 저하시키는 것으로 보고되고 있어  $\epsilon$ 탄상을 얻는 것이 주요과제로 요구되고 있다.<sup>17)</sup> 이러한  $\epsilon$ 탄상을 얻기 위한 방법에는 여러 가지가 있겠으나 본 연구에서는 고압, 반복하중을 많이 받는 환경조건에서 사용되어 마모저항, 피로저항 등이 요구되는 크롬계 열간가공 공구강 AISI H13강과 화합물층의 형성과 특성을 비교하기 위하여 H13강과 탄소의 함량이 비슷한 보통탄소강인 AISI 1045강을 사용하여  $NH_3-CO_2-N_2$ 의 혼합가스 조성에 CO가스를 첨가시킴으로써 탄소 포텐셜(carbon potential)을 증가시켰을 때 발생하는 화합물층과 확산층의 상변화를 관찰하고, 또한 혼합가스분위기에 CO가스의 첨가에 의한 탄소 포텐셜의 변화를 고찰함으로써 처리사이클의 조절과 최외표면층에서부터 기지조직방향으로 깊이에 의한 질소 및 탄소의 조성비를 조사하여 침질탄화 처리중의 반응기구를 Fe-N-C 상태도를 이용하여 밝히고자 하였다. 기계적 성질의 향상과 관련된 잔류응력의 역할에 대한 연구가 필요하므로 X-선 잔류응력측정 방법을 이용하여 잔류응력을 측정하여 가스침질탄화 처리에 의한 질소와 탄소의 확산에 의해 형성된 화합물층과 확산층에 대한 잔류응력과의 관계를 규명하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시료제작

본 연구에 사용된 시료는 크롬계 열간가공 공구강 AISI H13강과, 화합물층의 형성과 특성을 비교하기 위해 AISI 1045강을 사용했으며 각 시료에 대한 화학조성은 Table 1과 같다. AISI H13강

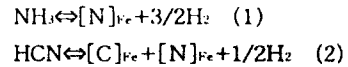
Table 1. Chemical composition of specimens (wt.%).

specimens	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V
AISI1045	0.46	0.92	0.02	0.01	0.20			
AISI H13	0.40	0.38	0.01	0.01	1.20	4.83	1.14	0.88

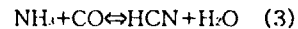
은 가스침질탄화 처리전에 1020℃에서 30분 동안 오스테나이트화 처리 후 공냉하였으며 590℃에서 1시간 동안 템퍼링 처리를 실시하였다.

2.2 가스침질탄화 처리

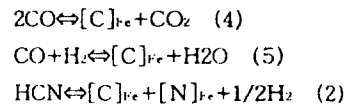
가스침질탄화 처리는 570℃를 기준으로 온도편차를  $\pm 1.5^\circ C$  이내로 유지시킨 수직형 전기관상로(vertical type electric tube furnace, 911×1000mm, 3kw)를 사용하였으며 가스는 하부에서 주입되어 혼합되고 가스반응을 향상시키기 위해 상·하부에 순환팬을 장착시켰다. 혼합가스 분위기는  $NH_3-CO_2-CO-N_2$  혼합가스에서 주로  $CO_2$ 와 CO가스의 조성을 변화시켜 실험을 행하였다. 이때 노내에서 발생하는 주요 가스반응은 아래와 같다. 먼저 침질탄화 처리시 활성질소의 공급원으로서 질화의 중요한 기구가 되는 반응은 다음과 같다.



여기서 시안화수소는 다음과 같은 암모니아와 CO의 반응에 의해 생성된다.



그리고 침질탄화 처리에서 발생하는 침탄반응은



따라서 시안화수소는 질화와 침탄을 동시에 발생하는 기구로서 작용함을 알 수 있다. 가스침질탄화 처리중 혼합가스의 노내 체적교환비(volume exchange rate)는 22.93times/hour로 유지했으며 처리후 퀘칭하였다.

2.3 현미경 조직시험

가스침질탄화 처리된 표면의 미세조직을 관찰하기 위해 현미경 조직시험용 시편준비법에 의하여 연마 및 정마한 후 3% Nital에 부식시켰으며 광학현미경(optical microscope, nikon, EPIPHOT,

및 주사전자현미경(scanning electron microscope, JSM-35F)을 사용하여 화합물층 및 확산층의 미세조직의 특성을 관찰하였다.

## 2.4 경도시험

화합물층 및 확산층의 깊이에 따른 경도변화를 관찰하기 위하여 비커스 미소경도기(Vickers micro-hardness tester, Matsuzawa, MXT 70)를 사용하여 실시하였다.

## 2.5 X-선회절시험

가스침질탄화 처리에 의해 형성된 화합물층의 조직을 분석하기 위하여 X-선 회절시험기(Rigaku, D/MAX-II A)를 사용하여 X-선회절분석 시험을 행하였다.

## 2.6 화학분석시험

가스침질탄화 처리후 화합물층과 확산층내에 확산해 들어간 용질원자의 농도변화를 분석하기 위해 글로우방전분석기(glow discharge optical spectrometry, GDS-750 QDP, 영국 LECO 사제)을 사용하여 최표면에서부터 깊이에 따른 농도변화를 측정하였다.

## 2.7 잔류응력측정시험

잔류응력은 측정상수가 입력되어진 컴퓨터 본체 측정시스템에 의한 X-선 회절빔을 이용한 잔류응력측정기(X-ray residual stresses measurement, Rigaku, MSF-2M)를 사용하여 시료표면 법선과 격자면 법선이 이루는 각, ( $\Psi$ )을  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  및  $45^\circ$ 로 변화시켜 측정하고 시편의 다른 3개 위치에서 동일방법으로 측정값의 평균값을 구했으며 화합물층 최표면에서부터 확산층의 깊이 방향으로 연마법에 의해 측정하였다.<sup>9)</sup> 잔류응력측정을 위한 특성과 사용조건 Table 2와 같다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 현미경 조직관찰

Table 2. Measuring conditions for X-ray residual stress analyser.

goniometer	focus-to-sample distance : 110mm
	filter(for K) $\beta$ : Ni
	datum point : $2\theta = 170^\circ$ , $\Psi = 30^\circ$
X-ray tube	target : Cu
	output : max. 30Kv, 10mA
	effective focus : $4 \times 4$ mm
controller	$2\theta$ feed speed : $64^\circ/\text{min}$
	$\Psi$ presetting : $0^\circ \sim 45^\circ$ in step of $15^\circ$
X-ray generator	tube voltage : 30Kv
	tube current : 9.5mA

침질탄화 처리시 고탄소강이나 고합금강은 때때로  $\epsilon$ 단상으로 존재하는 경우가 많다. 또한 탄소의 함량이 낮은 재료나 저합금강도 CO가스를 첨가시켜 표면에 탄소의 함량을 높이면  $\epsilon$ 상이 더욱 안정화 될 수 있다고 보고되고 있다.<sup>10)11)</sup> H13강과 같은 합금강에서는 합금원소가 특수한 탄화물 형태로 존재하며 가스침질탄화 처리가 행해지는 동안 확산된 질소는 미세한 탄화물을 탄질화물로 형성시키는데, 그 이유는 질소가 탄소보다 철과의 친화력이 더욱 강하기 때문인 것으로 알려져 있다. 이러한 형성기구에 의해 침질탄화 처리시 질소는 탄화물로부터 탄소를 분리시켜 표면층의 탄소함량이 증가하여 화합물층에 생성되는 상은  $\gamma'$ 상보다  $\epsilon$ 상의 형성이 더욱 촉진된다.<sup>12)</sup>

Fig. 1은 AISI 1045강을 CO<sub>2</sub>와 CO가스의 첨가에 따른 혼합가스 조성을 변화시켜 570°C에서 2시간 동안 가스침질탄화 처리했을 때 현미경조직으로서 (a)의 화합물층은 (b), (c), (d)에 비해 상대적으로 두께가 감소했는데 그 이유는 Fe-N-C 상태에서 (b)와 (c)는 첨가된 CO<sub>2</sub>와 CO가스에 의해 탄소의 포텐셜이 증가하여 화합물층은  $\epsilon$ 단상을 형성하기 쉬운 약 0.6wt%C까지의 영역에 존재하므로 이 조성에서는 층의 형성이 빠르게 진행되고 층의 두께가 증가된다. 그러나 (a)의 경우 CO가스의 첨가에 의한 화합물층내의 탄소의 함량이 공식조성 이상으로 상승하게 되며, 따라

Fig. 1 Optical micrographs of AISI 1045 steel nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the following atmospheres.

(a) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO-46%N<sub>2</sub>

(b) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-46%N<sub>2</sub>

(c) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-1%CO-45%N<sub>2</sub>

(d) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-4%CO-42%N<sub>2</sub>

서 이 영역에서는 오히려 탄소의 함량이 증가함에 따라 질소의 활동도가 상대적으로 감소하게 되므로 화합물층의 두께가 감소된다고 생각된다. 그러나 (d)의 화합물층은 CO가스의 함량이 (a)의 경우와 같음에도 불구하고 화합물층의 두께는 오히려 더 증가하는데 그 이유는 (4)식으로부터, 즉  $2CO \rightleftharpoons C + CO_2$ 의 반응식에서 (d)는 CO<sub>2</sub>가스의 양이 (a)보다 4%가 더 첨가되었기 때문에 CO의 분해는 CO<sub>2</sub>의 첨가에 의해 억제되고 탄소 포텐셜은 오히려 감소하며 탄소함량이 공식조성 이하로 되므로 질소의 활동도가 증가하므로 화합물층의 두께가 증가 된다고 생각된다. 화합물층의 두께는 NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> 혼합가스에 1%CO를 첨가했을 때 15 $\mu$ m로 측정되었으며 우수함을 나타냈다. 화합물층 아래 확산층의 미세조직은 가스침질탄화 처리전과 같게 보이지만 화학분석 결과 용질

원자가 상당량 함유되어 있음을 알 수 있으며 퀴칭에 의해서 기지조직내에 과포화상태로 고용되어 있다. H13강의 현미경조직사진은 Fig. 2에 나타낸바와 같으며 NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub> 혼합가스에 CO가스만 첨가한 경우 화합물층은 매우 얇게 형성되었으나 CO+CO<sub>2</sub> 가스의 첨가에 의해서 화합물층의 형성이 비교적 쉽게 일어 났으며 1045강의 경우에 비해 그 두께가 뚜렷하게 감소되었음을 알 수 있다. 이는 합금원소의 영향 때문에 표면층에 탄소의 함량이 급격히 증가하여 층의 형성속도가 감소했다고 판단된다. 화합물층 아래 확산층의 미세조직은 템퍼링된 마르텐사이트와 미세한 복합탄질화물로 구성되어 있다.

Fig. 3은 H13강과 1045강의 CO가스의 첨가에 따른 화합물층의 형성특성을 나타내기 위한 주사전자현미경의 조직사진이며 (a)는 1045강의



화합물층과 확산층의 경계부위이며 화합물층의 성장은 탄소가 많은 지역에서 우선적으로 성장하기 때문에 펄라이트의 Fe<sub>3</sub>C에서 화합물층이 우선적으로 성장하고 있음을 나타내고 있다. 그러나 (b)의 H13강의 경우에는 화합물층의 성장은 대체적으로 균일하게 성장하고 있으나 탄화물이 밀집한 일부 지역에서는 성장이 우선적으로 일어날 수 있다. 화합물층의 최외부를 관찰한 결과 1045강에서는 CO가스의 첨가에 따라 미세 다공층의 양이 증가하였는데 이는 CO<sub>2</sub>만 첨가한 혼합가스 분위기에 비해 적은량의 질소로도 ε상을 형성할 수 있으므로 최외부의 질소량이 상대적으로 높아져 화합물층내에서 질소원자는 상호 결합하여 N<sub>2</sub>를 형성시켜 국부적으로 고압으로 미세한 기공을 형성시킨 것으로 생각된다. 그러나 H13강의 경우 합금원소의 영향으로 인해서 다공층은 대단히 적은 양이 형성되었음이 관찰되었다.

3. 2 경도특성

H13강을 570°C에서 2시간 동안 50%NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>의 혼합가스 분위기에 CO<sub>2</sub> 및 CO가스의 첨가에 따른 경도값의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. H13강은 일반 탄소강에 비해 합금원소가 함유되어 있기 때문에 침질탄화 처리시에 경도에 크게 영향을 주는 많은 탄질화물을 형성시켜 탄소강에 비해 최고 경도값이 월등히 높은 Hv1200 정도의 값을 가짐을 알 수 있다. (a)에서 CO가스함량이 1%에서 4%로 증가함에 따라 경도값의 변화는 크지 않지만 다소 증가의 경향을 나타내고 유효경화층의 깊이변화는 대단히 크게 나타나고 있다. CO가스가 8%로 증가함에 따라 최고 경도와 유효경화깊이가 크게 감소함을 나타낸다. (b)에서도 (a)와 같은 경향이 뚜렷하게 나타나며 CO함량이 1%에서 4%로 증가함에 따라 최고경도 및 유효경도깊이가 증가하지만 8%로 더 증가하게 되면 경도값이 급격히 감소함을 알 수 있다.

3. 3 X-선회절분석

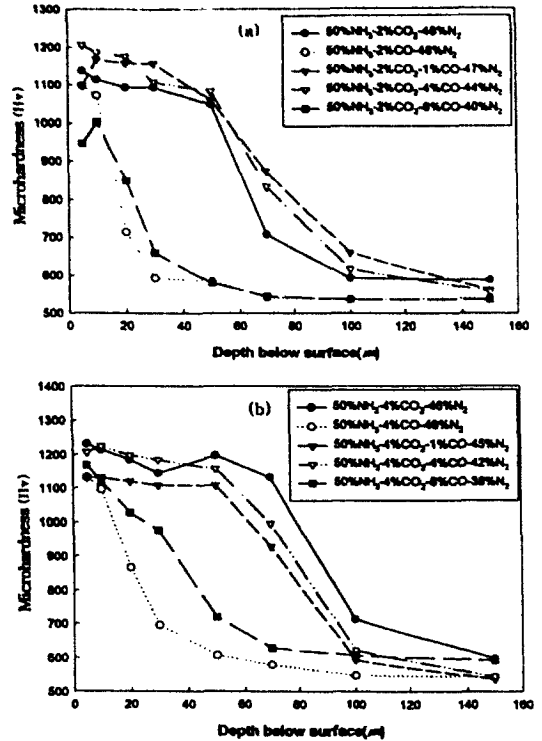


Fig. 4 Hardness profiles of AISI H13 steel nitrocarburised for 2 hours at 570°C in various gas atmospheres. (a) 50%NH<sub>3</sub> + 2%CO<sub>2</sub> based gas mixtures (b) 50%NH<sub>3</sub> + 4%CO<sub>2</sub> based gas mixtures

Fig. 5는 AISI 1045강을 50%NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>의 혼합가스 분위기에 CO<sub>2</sub> 및 CO가스의 조성을 변화시켜 가스침질탄화 처리를 행한 후 X-선 회절시험에 의한 화합물층의 분석결과를 나타내고 있다. (a)는 CO<sub>2</sub>만 첨가하여 처리한 경우로써 CO가스가 첨가되지 않아 화합물층을 구성하는 상이 Fe-N-C 상태상의 ε+γ' 상역을 스쳐지나고 이리인해 화합물층은 주로 ε-Fe<sub>3</sub>(N,C)로 형성되고 소량의 γ'-Fe<sub>3</sub>N상과 시멘타이트로 구성되어 있다. (b)는 (a)의 혼합가스 조성에 탄소의 포텐셜을 높이기 위해 CO가스를 4%첨가시킨 것으로서 ε-Fe<sub>3</sub>(N,C)의 양은 많아지고 γ'-Fe<sub>3</sub>N상과 시멘타이트의 양은 (a)에 비해 다소 감소되는데 이는 첨가된 CO가스가 노내의탄소 포텐셜을 높여 화합물층으로 확산한 탄소의 양이 증가되어 ε상을 형성하기 쉽게하기 때문인 것으로 생각된다.

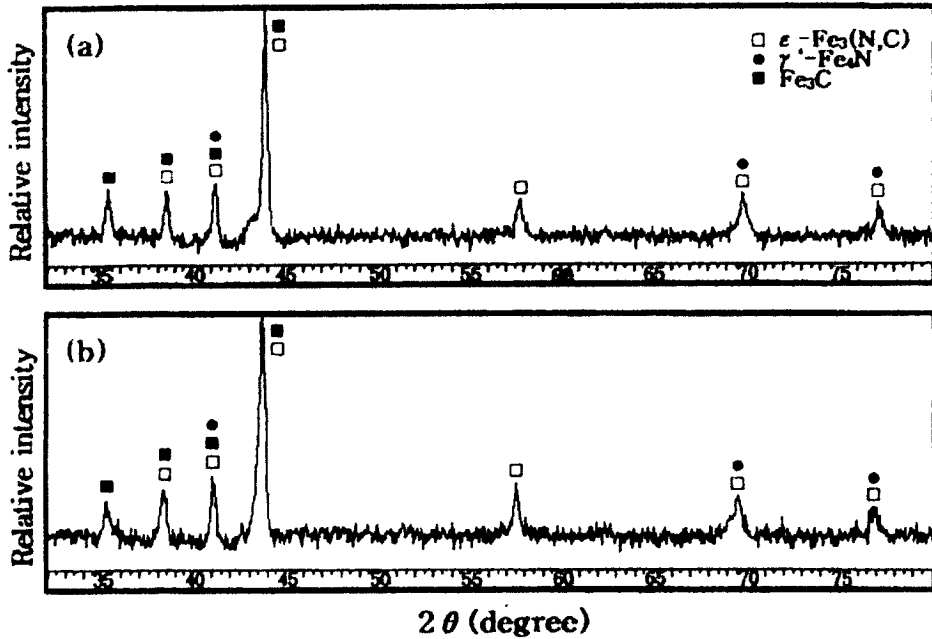


Fig. 5 X-ray diffraction patterns of AISI 1045 steel nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the following atmospheres.

(a) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-46%N<sub>2</sub>

(b) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-4%CO-42%N<sub>2</sub>

### 3. 4 질소 및 탄소의 농도변화

AISI H13강을 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>의 혼합가스 분위기에 CO가스의 첨가에 의한 가스 조성을 변화시켜 570°C에서 2시간 동안 가스침질탄화 처리 후 글로우방전분석기를 이용하여 화합물층의 표면에서부터 기지조직 방향으로의 깊이에 따른 질소와 탄소의 농도변화를 Fig. 6에서와 같이 Fe-N-C 상태도에 적용하여 나타내었다. 일반적으로  $\gamma'$ 상은  $\epsilon$ 상에 비해 기계적성질이 나쁘고 특히 내식성을 저하시키므로  $\gamma'$ 상을  $\epsilon$ 상으로 변태시킬 필요가 있는데 이는 Fe-N-C상태도에서 알 수 있듯이 표면층에 탄소의 포텐셜을 증가시켜 화합물층에 탄소함량을 증가시키면 낮은 질소의 함량에도 불구하고  $\epsilon$ 단상 영역은 오히려 증가해서 쉽게  $\epsilon$ 단상을 얻을 수 있으므로 탄소포텐셜을 증가시킬 수 있는 가스, 유기액 등을 이용하여  $\epsilon$ 상을 얻을 수 있다. 침질탄화 처리에서 탄소는 화합물층의 성장을 더욱 빠르게 하며  $\epsilon$ 상을 안정화시키는 역할을 하며 이는  $\gamma'$ 상보다 더 급격한 농도구

배를 이루는  $\epsilon$ 상의 탄소와 질소의 높은 고용범위에 기인한다.<sup>11)12)</sup> (a)의 경우 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-1%CO-45%N<sub>2</sub> 혼합가스 조성에서 처리한 것으로 동일한 조성에서 처리한 1045강에서보다 확산된 탄소와 질소의 농도가 더 높게 나타났는데 이는 합금원소가 영향으로써 침질탄화 처리시 합금원소는 질소와 탄소와 반응하여 복합탄질화물을 형성하고 질소와 탄소의 확산을 저지하는 효과를 나타내어 화합물층내에 존재하는 탄소와 질소의 양이 증가한 것으로 생각된다. (b)의 경우 첨가된 CO가스의 양이 (a)의 경우보다 더 많으므로 (a)에 비해 확산한 탄소의 양이 훨씬 높은 것을 알 수 있고 Fe<sub>3</sub>C+ $\epsilon$ 의 2상영역을 지나는데 이는 X선 회절분석 결과와 일치하였다. 그리고 상태도상에서 깊이에 따른 질소와 탄소의 농도변화곡선은 화합물층의 두께와 매우 밀접한 관계를 가지는데, 최외표면층에서부터  $\epsilon$ 단상까지의 깊이가 실제 화합물층의 두께와 비례하고 있음이 현미경 조직과 비교해본 결과 확인되었다.

Fig. 7은 H13강을 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>의 혼합

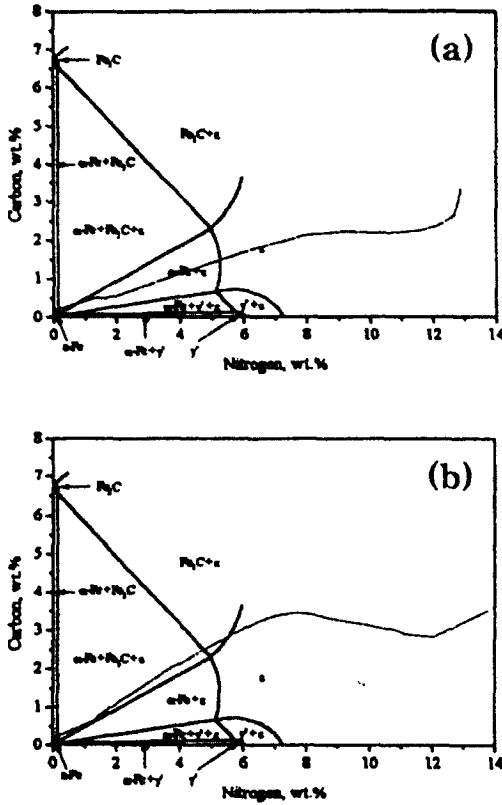


Fig. 6 Isotherm of the Fe-N-C system overlaid with the compositions obtained from GDS through compound layers for H13 steels nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the following atmospheres.  
 (a) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-1%CO-45%N<sub>2</sub>  
 (b) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-4%CO-42%N<sub>2</sub>

가스 분위기에 첨가하는 CO가스의 조성을 변화시켜 가스침질탄화처리 후 글로우방전분석기를 사용하여 가스침질탄화처리중 확산된 용질원자의 양을 분석한 결과를 나타내고 있다. (b)는 (a)에 비해 4%CO가스의 첨가로 인해 화합물층내 탄소의 함량이 뚜렷하게 증가하였으므로 침탄반응에 의한 탄소포텐셜의 효과적인 증가를 알 수 있고 질소농도 변화곡선으로부터 질화반응이 원활히 이루어져 침질탄화 반응의 제어가 CO가스 첨가량의 조절에 의하여 가능함을 볼 수 있다. 처리표면층에 증가하는 산소는 침질탄화반응 결과 생성되는 산

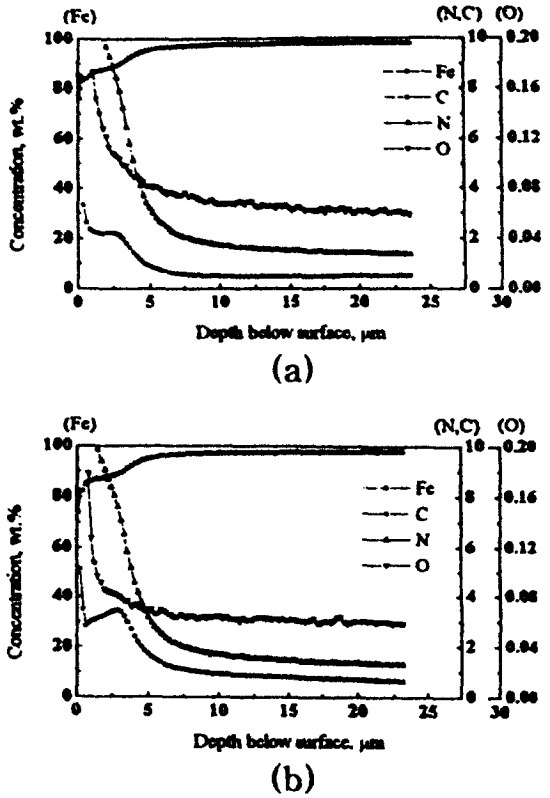


Fig. 7 Depth-concentration profiles of nitrogen, carbon and oxygen obtained by GDS for H13 steel nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the following atmospheres.  
 (a) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-1%CO-45%N<sub>2</sub>  
 (b) 50%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-4%CO-42%N<sub>2</sub>

화성가스로 인해서 미량의 산소가 확산되어 화합물층내 다공층에 존재하고 있는 것으로 생각된다.

### 3.5 잔류응력분포

NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> 혼합가스에 다양한 양의 CO가스를 첨가함에 따라 침질탄화 처리된 H13강의 잔류응력의 측정결과를 Fig. 8에 나타내었으며 (a)는 50%NH<sub>3</sub>-2%CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>의 혼합가스 분위기에 1% 및 4%의 CO가스를 첨가시켜 침질탄화 처리를 행한후 화합물층의 최외표면부에서부터 깊이 방



향으로 측정된 잔류응력의 분포인으로써 최표면부의 잔류응력값은 다소 불규칙한데 이는 X-선의 침투깊이가 얇고 표면의 소량의 기공, 미세조직결함, 확산해 들어간 질소와 탄소의 농도의 차이 등으로 인한 것으로 생각된다. 잔류응력의 값은 화합물층의 최외부에서는 비교적 높은 압축잔류응력값을 나타내고 화합물층과 확산층내부로 들어갈수록 그값은 감소하며 최표면에서 62 $\mu\text{m}$ 부근에서 압축잔류응력에서 인장잔류응력에서의 전환점이 나타난다. 화합물층과 확산층에서 나타난 압축 잔류응력값은 확산해 들어간 용질원자가 철의 격자 사이에 침입형 원자로서 채적을 증가시키고  $\epsilon$  상으로의 변태응력과 퀴칭에 의한 열응력이 복합적으로 작용하여 압축잔류응력을 발생하고 확산층영역의 전환점보다 깊은 지역에서는 인장응력이 존재하여 압축잔류응력과 평형을 이루고 있음을 알 수 있다. 이렇게 발생한 표면층의 압축잔류응력은 피로강도, 내마모성 등 기계적 성질을 향상시키는 주요 인자로 작용한다. (b)의 경우 (a)에 비해  $\text{CO}_2$ 가스를 2%에서 4%로 증가시켜 처리한 결과로서 평균최대압축응력의 값은 48kg/ml로 거의 같으나 압축잔류응력에서 인장잔류응력에서의 전환점은 (b)의 경우 90 $\mu\text{m}$ 로 (a)보다 28 $\mu\text{m}$  더 증가함을 알 수 있다. 따라서 50%  $\text{NH}_3$  + 1%  $\text{CO} + \text{N}_2$  혼합가스의 동일조건에서  $\text{CO}_2$ 를 변화시켰을 때 (c)에 나타낸바 같이 전환점의 위치는 2%  $\text{CO}_2$ 의 경우 70 $\mu\text{m}$ 이고 4%  $\text{CO}_2$ 가스가 첨가된 경우 90 $\mu\text{m}$ 이며 20 $\mu\text{m}$  더 증가되었다.

그러므로 화합물층과 확산층의 압축잔류응력의 최대값과 영역의 크기의 증가를 위한 처리조건의 조절이 중요하다고 생각된다.

#### 4. 결론

AISI H13강과 1045강을 50%  $\text{NH}_3$ - $\text{N}_2$ 의 혼합가스 분위기에  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ 가스를 첨가시켜 가스침질탄화 처리를 행한 후 현미경 조직관찰, 경도시험, X-선 회절시험, 화학분석 및 잔류응력시험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 50%  $\text{NH}_3$ -4%  $\text{CO}_2$ - $\text{N}_2$ 의 혼합가스 분위기에서

1%의  $\text{CO}$ 를 첨가하여 1045강을 가스침질탄화 처리한 결과 표면층은 화합물층과 확산층으로 구성되고 화합물층의 두께는 570 $^\circ\text{C}$ 에서 2시간 처리한 결과 15 $\mu\text{m}$ 이다. 화합물층의 X-선 회절분석 결과 주로  $\epsilon$ - $\text{Fe}(\text{N},\text{C})$ 와 소량의  $\gamma'$ - $\text{Fe}_3\text{N}$  및 시멘타이트로 구성되어 있다.

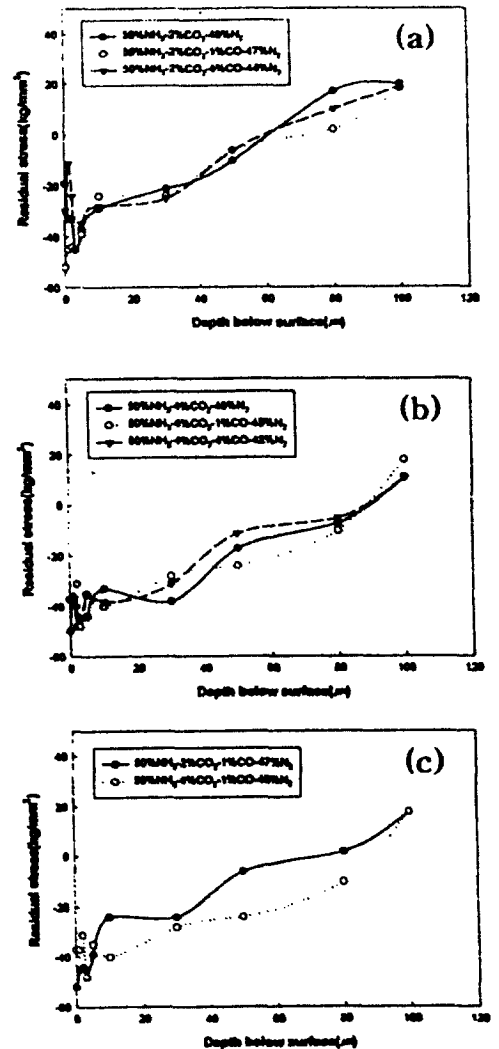


Fig. 8 Residual stress distributions of AISI H13 steel nirtocarburised for 2 hours at 570 $^\circ\text{C}$  in various atmospheres.

2) 침질탄화 처리후 경도분포는 H13강에서 최대 경도값이 1200 Hv이며 유효경화깊이는 CO가스의 함량이 4%까지 증가하나 그 이상일 경우 감소한 용 나타낸다.

3) 가스침질탄화 처리후 화합물층과 확산층내의 탄소와 질소의 화학분석 결과 CO가스의 양을 1%에서 4%로 증가시키에 따라 탄소함량은 뚜렷하게 증가되나 질소함량은  $\epsilon$ 상을 형성시킬만큼 충분히 확산되지만 큰 변화는 없다. 가스반응 생성물이 적은양의 산화성 가스로 인해 미량의 산소가 존재하고 있다.

4) Fe-N-C상태도로부터 화합물층내의 탄소 및 질소의 분석결과 CO가스의 첨가에 의해 화합물층을 주로 구성하는 상은  $\epsilon+\gamma'$  상의 2상 영역을 통과하지 않고 이 구역의 상부 영역인  $\epsilon$ 단상 영역을 통과하여  $\epsilon$ 상을 쉽게 얻을 수 있다.

5) H13강을 50%NH<sub>3</sub>-(2.4)%CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>의 혼합가스 분위기에서 CO가스의 첨가에 따른 최대압축잔류응력의 값은 48kg/mm<sup>2</sup>이며 압축잔류응력영역의 크기는 50%NH<sub>3</sub>-45%N<sub>2</sub>-4%CO-1%CO 혼합가스인 경우 표면에서 90 $\mu$ m의 깊이에 이르고, 따라서 표면층의 압축잔류응력의 최대값과 영역크기의 조절은 기계적 성질 향상을 위해 매우 중요하다.

## 후 기

본 연구는 1997년도 동아대학교의 교내학술연구 조성비로 수행되었으며 이에 진심으로 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. C.Dawes : Surf. Eng., Vol. 7, No. 1, (1991) 29
2. C.Dawes, D.F. Tranter and C.G.Smith : Heat Treat. Met., Vol. 7, No. 1,(1980) 1
3. F.K.Cherry : Heat Treat. Met., Vol. 14, No. 1, (1987) 1
4. E.J.Mittermeijer, H.C.F.Rozendal, P.F.Colijn, P.J.Vanderschaaf and R.T.H. Fumee : Heat Treat. 81', (1981) 60
5. K.Sochs and D.B.Clayton : Heat Treat. Met., Vol. 6, No. 2, (1979) 6
6. A. Wells and T.Bell : Heat Treat., Met., Vol. 10, No. 1, (1974) 39
7. J. Wunning : Harterei-Technische Mitteilungen, Vol. 29, No. 1, (1974) 42
8. J. Wunning : Z. Wirtschaft. Fert., Vol. 72, No. 3, (1977) 154
9. S. Prevey : Metals Handbook, 9th edition, ASM, Vol. 10, (1986) 381
10. L. Sproge and J. Slycke : Materials Science Forum, Vol. 102, (1992) 229
11. J. Slyke and L. Sproge : Sur. Eng., Vol. 5, No. 2, (1989) 131