

.....

論 文

.....

## 진공침탄을 위한 처리조건 설정에 관한 연구

이상길·강순배\*·정병호\*·김한군\*

형제열처리공업사

\* 부산공업대학 금속공학과

## A Study on Setting up Condition of Treatment for Vacuum Carburizing

Sang-Gill Lee, Sun-Bae Kang\*, Byong-Ho Jung\* and Han-Goon Kim\*

Hyung-Je Heat Treatment Co.,

\* Department of Metall., Eng., Pusan National University of Technology

## ABSTRACT

SCM 415 has been vacuum carburized in the carburizing pressure of 60-65kpa and the carburizing temperature of 1233k and 1273k after varied to 0-20 in the ratio of  $N_2/C_3H_8$  and then diffusion treated for various times at 1123k. The results obtained from the experiment are as follows.

1. With increasing from 0 to 20 in ratio of  $N_2/C_3H_8$  the sooting formation of surface after carburizing considerably decreased.
2. The hardness control and surface carbon content of carburizing surface has been modified by the addition of nitrogen to the propan.
3. The appoximate value of k is indirectly calculated at 1123k which results are obtained to  $0.58 \times 10^{-2}(\text{wt.}\% \cdot \text{s}^{-1/2})$ .
4. A great deal of propan by addition of nitrogen gas in carburizing gas was possible to saving without considerable change in case hardening depth.
5. The effective carburizing depth range is obtained to 0.8-1.1mm by diffusion temperature of 1123k after carburization at 1273k-3.6ks, and the surface hardness is increased as the increasing of  $T_b/T_c$  in our experimental condition, and the maximum hardness as reachin distance from surface is decreased.

## 1. 서 론

진공침탄(Vacuum Carburizing)은 일명 분압침탄(Partial pressure carburizing)<sup>1)</sup>이라고도 부르며, 부품을 산소 분압이 낮은 진공중에서 오스테나이트 상태로 가열하여 부품표면을 활성화시킨 후 메탄이나 프로판과

같은 탄화수소 가스를 도입하여 대기압보다 낮은 진공상태의 분위기에서 분해된 탄소가 강재표면에 침입하여 침탄이 이루어지므로서 표면탄소 농도가 증가되고 이것을 퀘칭시키므로서 경화되는 표면경화법이다<sup>2-6)</sup>.

이러한 진공침탄법은 미국 C.I. Hayes 사의 H.W. Western<sup>7)</sup>에 의하여 1968년경부터 연구를 시작하여

1972년에 처음으로 발표된 이후 세계각국에서 도입되어 1984년경에 이미 약 100여대의 진공침탄로가 가동되고 있는 것으로 보고되었다<sup>6)</sup>. 이 방법은 많은 장점을 갖고 있지만 가스침탄에 비하여 고온감압하에서 처리되고 발달된 역사가 짧기 때문에 경험이 부족하여 기술 축적이 이루어지지 못한 상태이다. 특히 우리나라에서 이러한 분야에 대한 연구가 부족하고 진공침탄의 산업화를 위한 기술 개발이 대단히 미미하여 설비적인 면이나 기술적 양면에서 개발노력이 절실히 요망되고 있다.

그런데 침탄부품의 품질은 보통 경도 분포에 의하여 관리되고 있는데, 이러한 경도분포도 결국에는 탄소농도 분포에 의존하게 된다. 이와 같은 경도와 농도분포를 처리조건과 관련시켜 규명하는 것은 실용적 관점에서 대단히 중요한 의미를 갖는다. 진공침탄이 가스침탄에 비하여 많은 장점을 갖고 있는데도 불구하고 아직 그렇게 많이 보급되어 있지 않는 것은 처리중 침탄가스에 의하여 로내에 발생하는 그을음(sooting)에 의한 침탄얼룩이라든지, 고온처리에 의한 결정립 조대화 등의 기술적 문제점이 여전히 존재하고 있기 때문이다. 그러나 후자에 대한 문제는 진공침탄용 강재개발<sup>9)</sup> 등에 의하여 점차 해결되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 진공침탄시에 발생하는 그을음의 생성을 개선시키기 위하여 진공감압하에 도입하는 가스로서 프로판에 여러가지 비율의 질소가스를 혼합시켜 유입시키므로써 침탄얼룩 생성을 방지하고 에너지 절역, 및 침탄시간과 확산시간조정을 위한 처리조건 설정을 위한 하나의 기초자료로 활용코자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 시료 및 열처리

본 실험에 사용된 시료는 단조, 절삭 등의 가공과 열처리를 하여, 주로 기계 구조용 표면경화용강으로 많이 사용되는 SCM 415 강종을 사용하였으며, 시료의 화학성분은 Table 1 과 같다.

실험에 사용된 진공침탄로는 김한균<sup>9)</sup>등이 사용한 길이 1m, 내경 35mm 크기의 불투명 석영 관상로를 다스

Table 1. Chemical Composition of Specimen(wt.%).

specimen	C	Si	Mn	P	Cr	Mo
SCM 415	0.14	0.02	0.95	0.014	1.12	0.20

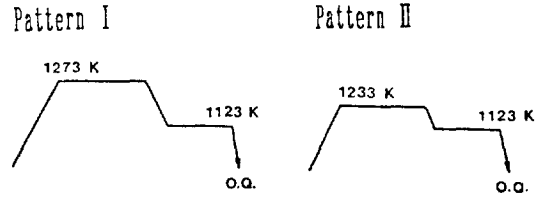


Fig.1. Cycle of heat treatment for vacuum carburizing.

Heat No.	carburizing		diffusion	
	Temp. (k)	Time(ks)	Temp. (k)	Time(ks)
1	1273	3.6	1123	3.6
2	1273	3.6	1123	2.4
3	1273	1.8	1123	3.6
4	1273	1.8	1123	2.4
5	1233	3.6	1123	3.6
6	1233	3.6	1123	2.4
7	1233	1.8	1123	3.6
8	1233	1.8	1123	2.4

개량하여 사용하였으며, 로의 온도가 미리 설정된 온도에 도달하면 시료를 장입하여 진공펌프로 배기시켰다. 장입후 재차 시료의 온도가 미리 설정된 침탄온도에 도달하면 프로판가스단독, 질소 : 프로판 = 10 : 1 및 질소 : 프로판 = 20 : 1의 3가지 비율로 프로판 단일 가스 혹은 혼합가스를 도입하여 침탄시켰다. 가스 유입속도는 프로판 가스만을 사용할 때에는 150cm<sup>3</sup>/min로 하였으며 혼합가스를 사용할 때에는 1050-1100cm<sup>3</sup>/min로 유지하였고, 로내 압력은 60-65kpa로 유지하였다. 이때 침탄처리한 온도는 김한균<sup>9)</sup>등이 발표한 SCM 415 강의 입자가 지나치게 조대화되지 않는 온도와 시간범위에 속하는 1273k, 1233k에서 3.6ks 범위이내에서 침탄시켰으며, 이때 사용된 열처리 패턴은 Fig.1과 같이 크게 두가지로 나누어 처리하였다. 각각의 가스비에서 침탄처리한 후 0.3ks 이내에 온도를 1123k로 강하시켜 확산 처리한 후 기름속에 유냉시켰으며 이때 사용한 침탄과 확산처리 시간 및 온도는 Table 2와 같다.

### 2.2. 현미경 조직 및 경도 시험

현미경 조직시험은 시편 중심을 수직으로 절단하여, 침탄층단면 표면으로부터 100배 배율의 공학 현미경으

로 촬영하여 관찰하였다.

경도시험은 침탄표면층과 표면에서 부터 0.1mm의 간격으로 미소경도시험기(shimadzu, 모델 HMV-2000)로 하중 300g, 가압시간 15초의 조건으로 측정하였다.

### 2.3. 잔류 오스테나이트 함량 및 표면 탄소 농도 시험

퀵칭후 존재하는 잔류 오스테나이트 함유량을 시험하기 위하여 전해 연마한 후 X-선 회절시험(Regagu 모델 : geigerflex D/Max-IIA)을 하였으며 이때 사용한 실험조건은 다음과 같다.

Tager : Cuk $\alpha$                       Divergency slit : 1°  
 Tube voltage : 40kv                  Receiving slit : 0.15mm  
 Tube current : 40mA                  Sollar slit : 1°

열처리 조건에 따른 표면 탄소 함량을 측정하기 위하여 세척, 전해연마의 공정을 거쳐 분광분석기를 사용하여 표면탄소농도를 측정하였다

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 침탄조건 설정

침탄처리에서 처리제품의 최종표면경도는 궁극적으로 최종 표면 탄소 함유량에 좌우되며, 특히 진공침탄에서 최종 표면 탄소 함유량은 일반적으로 침탄온도와 침탄 시간/확산온도와 확산시간의 비에 의하여 결정된다. 침탄온도가 일정하면 전침탄깊이 Dt는 시간 t의 평방근에 비례한다.

$$Dt = k\sqrt{t} \quad (k \text{는 비례상수})$$

여기서 상수 k는 침탄온도, 강의 재질 및 침탄방법 등의 종류에 따라 다르다.

가스침탄시에는 필요한 표면탄소 농도를 얻기 위해서는 카이본 포텐셜이 높은 분위기에서 침탄하여 계속해서 카이본 포텐셜이 낮은 분위기에서 확산과 탈탄에 의하여 표면 탄소 함유량을 조절하는 것이 일반적이다. 이렇게 하기 위하여 처음부터 목표로 하는 카이본 포텐셜로 침탄하여도 침탄시간이 단축되지만, 목표로 하는 표면 탄소량과 침탄깊이를 얻기 위해서는 상당한 속련이 필요하며 정밀성도 떨어진다.

진공침탄에 의하면 처리제품의 표면탄소함량과 침탄깊이의 조절이 비교적 용이하며, 재현성이 우수하다. 그 이유는 침탄시 강의 표면탄소 함유량은 오스테나이트중

에 고용될 수 있는 탄소함유량으로 결정되기 때문에 침탄온도만 일정하게 유지하면 그 때 얻어지는 표면탄소 함량은 일정하게 되며, 여기서 얻어진 과잉표면탄소는 진공중에서 계속 가열하여 탈탄시키지 않고 장재내부로 확산시킨다. 침탄 종료후 확산이 개시되기 전의 표면탄소농도 Cs는 다음식으로 표시할 수 있다.

$$Cs = kt^{1/2} + C_0$$

여기서 k는 상수이며, C<sub>0</sub>는 침탄전 시료의 초기 탄소농도이다. 김한근<sup>9)</sup>등에 의하여 SCM415 강의 1268k에서 구한 k의 값이  $2.15 \times 10^{-2}(\text{wt.}\% \cdot \text{s}^{-1/2})$ 이므로 이 값을 Heat No.3의 경우에 대입하여 침탄종류후의 표면탄소 농도를 계산하면 1.05%이다.

침탄종류후 표면탄소농도를 C<sub>sc</sub>, 침탄 종류후 일정시간 진공상태에서 확산처리 하였을 때 감소된 표면탄소 농도를 D<sub>sd</sub>라 하면 침탄의 경우와 역으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

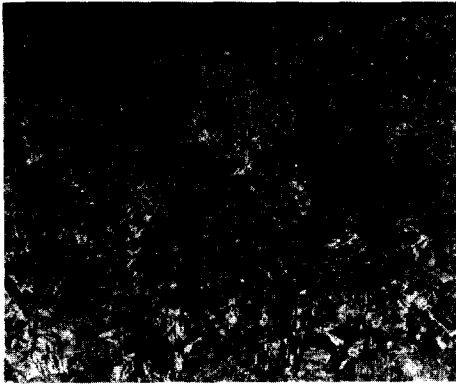
$$C_{sd} = C_{sc} - kt^{1/2}$$

Heat No.3의 경우 위에서 주어진 값을 이용하여 1123 K에서 간점적으로 k의 근사값을 구하면  $0.58 \times 10^{-2}(\text{wt.}\% \cdot \text{s}^{-1/2})$ 이 된다.

Photo 1은 순수 프로판 분위기에서 1233k에서 3.6ks 동안 침탄하여, 1123k에서 3.6ks 동안 확산처리했을 때 표면으로 부터의 현미경조직을 나타낸 것이다. 여기서 볼 수 있는 바와같이 침탄 표면으로 부터 약 0.2mm 까지는 상당히 많은 양의 잔류 오스테나이트가 존재하



Photo 1. Optical micro structure from surface the diffusion treatment at 1123K-3.6ks after carburizing at 1233K-3.6ks in propan only( $\times 100$ ).

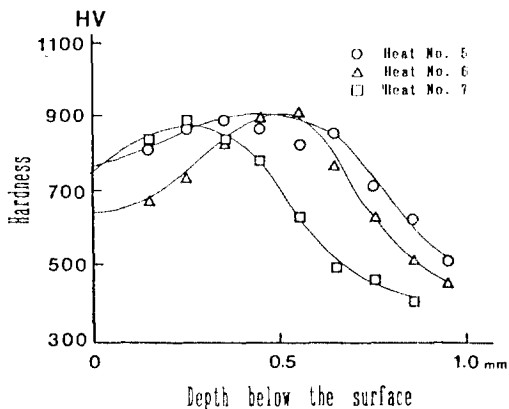


**Photo 2.** Optical microstructure from surface the diffusion treatment at 1123K-3.6ks after carburizing at 1273K-1.8ks in  $N_2/C_3H_8 = 20(\times 100)$

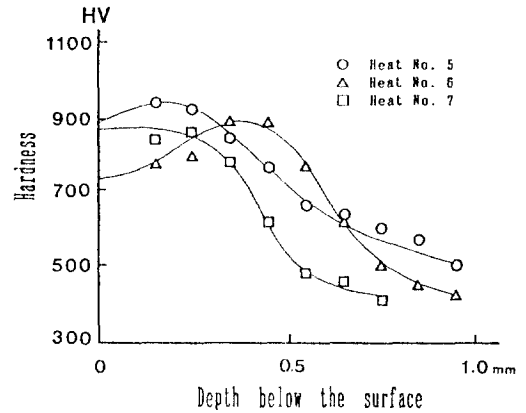
고 있으며, X-선 회절 시험결과 22.21%의 잔류 오스테나이트가 존재하는 것으로 확인되었다.

Photo 2는  $N_2/C_3H_8 = 20$ 의 혼합가스 분위기 중에서 1273k에서 1.8ks 동안 침탄처리하여 1123k에서 3.6ks 동안 확산 처리했을 때의 현미경조직 사진이며, 유효 경화층 깊이 ECD(Effective carburizing depth)는 0.8 mm이며, 현미경 사진상으로도 Photo 1에 비하여 표면층에 존재하는 잔류 오스테나이트 함량이 현저히 감소되어 있음을 알 수 있으며 X-선 회절 시험결과 잔류 오스테나이트 함량이 2.99%로서 사진상으로도 나타난 것과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

침탄온도 1233k, 확산온도 1123k에서 각각 프로판가



**Fig. 2.** Hardness as quenched after carburizing at 1233K-61.8kpa in  $C_3H_8$  gas only for various times.



**Fig. 3.** Hardness as quenched after carburizing at 1233K-61.8kpa in  $N_2/C_3H_8 = 20$  for various times.

스 단독,  $C_3H_8 : N_2 = 20 : 1$ 의 조건에서 처리했을 때 표면으로 부터 얻어진 경도분포를 Fig. 2 및 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2와 Fig. 3을 비교하면 동일한 처리조건에서 표면으로 부터 최고 경도에 도달하는 곳 까지의 거리가  $C_3H_8$  단독가스를 사용한 경우가 더 멀어지며 표면층의 최대경도도 낮게 나타나고 있다. 이것은 질소가스를 혼합했을 때보다 프로판 가스만을 사용했을 때 시료표면과 로내부에 sooting이 생성되어 침탄시간이 종료되어 확산 과정에서 시편 중위에 남아 있는 탄소 성분에 의하여 어느 정도 계속해서 침탄이 진행된 결과로 생각된다. 실제로 질소 가스의 혼합비를 10 : 1 이상으로 하여 침탄시켰을 때 보다 프로판만을 사용 했을 때 처리 종료 후 로내벽이나 시편표면에 상당량의 sooting이 잔존하였으나 질소가스와 혼합가스를 사용한 경우에는 sooting은 거의 존재하지 않았으며, 표면의 얼룩도 현저히 개선됨을 알 수 있었다. 이러한 사실은 본 실험에서 사용된 범위의 혼합가스 중의 질소의 혼합비가 20 : 1까지 증가 할수록 개선효과가 다소 증가 하였다. 또한 확산처리시간  $t_b$ 와 침탄처리시간  $t_c$ 의 비가 2/3에서 2까지 증가함에 따라 표면경도가 증가되고 표면에서 부터 최고 경도가 되는 곳 까지의 거리가 감소 하였다.

### 3.2. 질소 가스 첨가 효과

진공침탄시 로내의 압력은 대단히 중요한 인자이다. sooting의 생성을 방지하기 위해서는 처리 압력을 낮게 하지만(장입가스량을 적게), 이렇게 하면 가스의 교반이

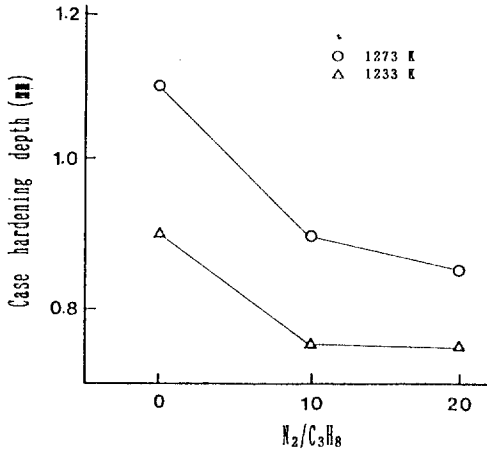


Fig. 4. Relation of carburizing depth as  $N_2/C_3H_8$  with diffusion treatment at 1123K-3.6ks after carburized for 3.6ks at each temperature.

불충분하게 되기 쉬워서 침탄열룩이 발생되기 쉬워지며, 가스의 교반을 좋게 하기 위하여 로내의 압력을 상승시키면 sooting의 발생이 많아져서 역시 침탄열룩이 생성된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 침탄가스에 질소가스를 첨가하여 로내에 장입하는 침탄가스의 양을 증가시키지 않고(필요에 따라 오히려 감소시키면서) 처리 압력을 증가시킬 수 있고, 처리압력을 일정하게 하면 침탄가스의 분압이 감소하기 때문에 상대적으로 프로판 가스의 농도가 감소하여 로내에 장입하는 프로판 가스를 절약할 수 있다<sup>9)</sup>.

Fig. 4는 1273k, 1233k에서 1시간 동안 침탄처리하여 1123k에서 1시간 동안 확산 처리하면서 동시에  $N_2/C_3H_8$ 의 비율 0, 10, 20 세가지로 변화시켰을 때 가스 혼합비에 따른 550HV가 되는 곳 까지의 거리인 유효 경화깊이, ECD와의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 혼합 가스비가 0인 경우는 나머지 두가지 경우보다 경화깊이가 약간 깊게 나타나고 있으나 혼합비가 10 : 1의 경우와 20 : 1의 경우에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5 및 Fig. 6은 각각 1273k, 1233k에서 1.8ks, 3.6ks 동안 침탄처리하여 1123k에서 3.6ks 동안 확산 처리했을 때  $N_2/C_3H_8$  혼합비에 따른 표면 탄소 농도와 잔류 오스테나이트 함유변화를 나타낸 것이다. 여기서도 순 프로판을 사용한 경우에는 질소가스를 혼합하여 사용한 나머지 두가지의 경우보다 표면 탄소 함유량과 잔

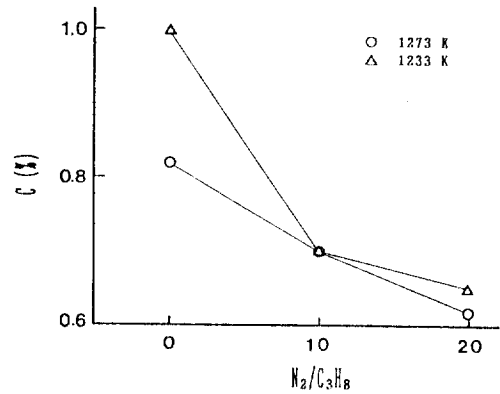


Fig. 5. Change in surface carbon content with ratio of  $N_2/C_3H_8$  the diffusion treated at 1123K for 3.6ks after carburizing at 1273K-1.8ks, 1233K-3.6K.

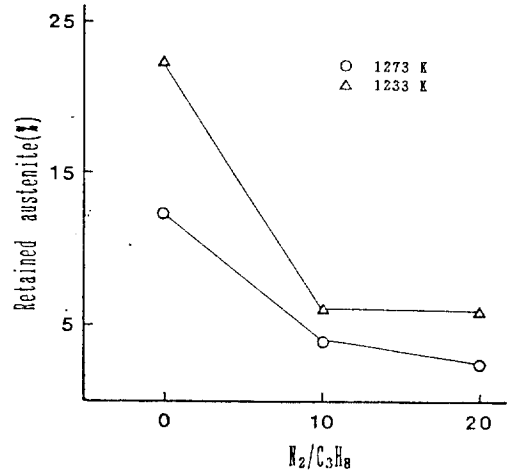


Fig. 6. Change in retained austenite content with ratio of  $N_2/C_3H_8$  the diffusion treated at 1123K for 3.6ks after carburized at 1273K-1.8ks, 1233K-3.6ks.

류 오오스테나이트의 함유량이 다 같이 다소 증가하고 있으나 혼합가스를 사용한 경우에는 비교적 근소한 차이를 나타내고 있다. 이것은 순 프로판 단독 가스를 사용했을 때에는 확산 처리 기간 중에 시편 표면에 집적된 탄소와 로내에 존재하는 탄소 성분에 의하여 어느 정도 계속해서 침탄이 진행된 것을 짐작하게 한다. 따라서 진공 침탄시 침탄가스에 질소 가스를 혼합하여 사용하므로써 표면 탄소 농도와 잔류 오오스테나이트의

함량뿐만 아니라 표면 경도와 침탄 경화층 깊이 조절이 용이하다. 또한 프로판 가스도 그 만큼 절약되기 때문에 에너지 절약이 가능하게 된다.

#### 4. 결 론

SCM 415 강을  $N_2/C_3H_8$ 의 비를 0-20로 변화시켜 침탄압력 60-65kpa, 침탄온도 1233k 및 1273k의 조건에서 진공침탄 처리하여 1123k에서 여러가지 시간동안 확산 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1)  $N_2/C_3H_8$ 의 혼합비가 0에서 20까지 증가함에 따라 진공침탄 후 표면층의 sooting의 생성이 현저히 감소하였다.
- 2) 프로판가스에 질소가스를 혼합첨가하므로써 침탄층 표면의 경도조절과 표면 탄소 농도 조절이 용이하였다.
- 3) SCM 415 강의 경우 1123k에서 간접적으로 구한  $k$ 의 근사값은  $0.58 \times 10^{-2}(\text{wt.}\% \cdot \text{s}^{-1/2})$ 으로 얻어졌다.
- 4) 침탄가스중의 질소가스의 혼합으로 침탄경화층 깊이에는 큰 변화없이 많은 양의 프로판 가스의 절약이 가능하다.
- 5) 침탄 온도 1273k에서 3.6ks 1123k에서 3.6ks 확산처리하여 0.8-1.1mm 범위의 유효 경화층 깊이가 얻어졌으며, 본 실험조건에서는  $t_b/t_c$ 가 증가할 수록 표면 경도가 증가하였으며, 표면에서 부터 최고 경도에 도달

하는 거리는 감소하였다.

#### 「후 기」

본 연구는 1991년도 산학협동재단 연구비 지원에 의하여 이루어진 결과로서 이에 심심한 사의를 표하는 바이다.

#### 5. 참고문헌

1. 杉山 : 金屬材料, 13, 3 (1933), 92.
2. 杉山道生 : 熱處理, 27, 6 (1987), 349.
3. 奥村 : 熱處理, 24, 5 (1984), 280.
4. H.W. Western : Metal Progress, Oct., (1972), 101.
5. W.J. Doelker : Metal Progress, May, (1970), 50.
6. D.H. Herring and G.P. Read : Metallurgia, May, (1986), 169.
7. D.H. Herring and G.P. Read : Metallurgia, Sep., (1975).
8. 杉山, 岩田 : 特殊鋼, 9月 (1983).
9. 이상길, 강순배, 정병호, 김한군 : 열처리 공학회지, Vol., 3, No.3, (1990), 13.