



論文

## 眞空浸炭 熱處理 技術開發에 관한 研究

이상길\* · 강순배 · 정병호 · 김한군

\*형제열처리공업사

부산공업대학 금속공학과

### A Study on Vacuum Carburizing Developments

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

\*Hyung-Je Heat Treatment Co.,

Department of Metall, Pusan National University of Technology

#### ABSTRACT

SCM 21 and D.P steel were carburized in vacuum using propane at a temperature ranging from 1228 k to 1308 k under a gas pressure ranging from 21.3 kpa to 61.8 kpa, and the following results were obtained.

1) D.P. steel has considerable efficiency in depressing the grain growth during the high temperature carburizing and it has fine structure even at 1268 k for 14.4 ks when carburized.

Therefore this steel is expected to be suitable for vacuum carburizing at a high temperature.

2) Case depth was increased as the carburizing temperature increases and it was 3.2mm at max. temperature of 1308 k, for max. time of 14.4 ks and under max. pressure of 61.8 kpa.

Thus vacuum-carburizing was considered effective for the materials which need case depth, which is necessary for machine structure use.

3) The rate of case depth of SCM 21 was faster than D.P. steel under same carburizing conditions and the increasing rate of the case depth was constant.

4) Case depth was increased as the gas pressure becomes high under same carburizing temperature.

5) Case carbon concentration,  $C_s$ , of SCM 21 obeys to a formula,

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

Where k is  $2.15 \times 10^{-2} (\text{wt}\% \cdot \text{S}^{-1/2})$  and this value is a little bit lower than that of SNCM 815.

#### 1. 서 론

最近 침탄시간을 단축시키기 위하여 實施하는 高温浸炭法 중에서 진공침탄법이 많이 사용되고 있다<sup>1-5)</sup> 眞空浸炭은 지금까지 많이 사용되고 있는 가스침탄에 비하여, 침탄시간과 확산시간의 調和에 의하여 表面炭素濃度 및 침탄깊이의 조절이 용이하고, 爐內 雰圍氣 관리

가 불필요하며, 處理製品の 입계산화가 생성되지 않기 때문에, 피로한도와 같은 기계적 성질이 향상되는 등 많은 장점을 갖고 있다. 이에 반하여 처리온도가 높기 때문에 鋼材 結晶粒의 조대화, 炭素析出의 문제등 해결해야 할 문제들도 있다. 전자에 대한 문제는 고온침탄용 강재개발을 위한 연구들이 이루어지고 있으며<sup>5-9)</sup>, 후자에 대해서는 박판을 이용한 鐵表面상의 탄소석출에

대한 理論 및 實驗的 研究<sup>10-15)</sup>들이 다수 수행되고 있다.

그러나, 이들 연구의 대부분은 침탄가스로서 메탄을 사용하고 있으며, 오오스테나이트의 결정입을 微細化시키기 위한 素材開發 분야에서도 低炭素鋼에 크롬을 첨가한 강재를 바탕으로 미량의 結晶粒 微細化 원소를 첨가한 특정조성에 대한 연구로 국한되어있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 비교적 국내에서 쉽게 구할 수 있는 프로판을 침탄가스로서 사용하여, 침탄압력과 온도 변화에 따른 眞空浸炭 특성을 고찰함과 동시에, 고온침탄용 鋼材개발을 위하여 가스침탄 강재인 SCM 21을 기본으로, 여기에 微量의 결정입 미세화 원소를 첨가하고 실리콘 含有量을 높여 2相組織鋼(Dual phase steel)을 만들어 고온에서 결정입 성장특성을 규명하여 고온 침탄용 鋼材개발에 필요한 기초자료를 제공코자하였다.

2. 실험방법

2.1. 試料製作

본 실험에 사용된 시료는 시판되고 있는 SCM 21을 기본으로 하고, 이것과 高温浸炭特性을 비교하기 위하여, 여기에 결정입 미세화 원소인 바나듐과 니오븀을 첨가하였으며 2相組織鋼에 의한 입자 미세화를 위하여 2.3%의 실리콘을 첨가하였다. 2相組織鋼(이하 D.P.강이라 함)을 제조하기 위하여 사용된 로는 眞空高周波 鎔解爐(日本技術工業社製)이며, 眞空鎔解한 후 주조 및 鍛造하여 직경 35mm의 환봉으로 만든 다음, Fig.1과 같은 형상으로 기계가공하여 사용하였으며, 사용된 시료의 화학성분은 Table.1과 같다.

2.2. 熱處理

Fig.2는 본 실험에서 사용한 수직형 관상로의 構成圖

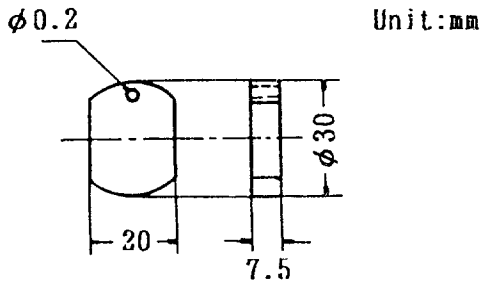


Fig.1. Schematic representation of a specimen used.

이며, Fig.3은 길이 1m, 내경 35mm의 불투명 石英 관상로의 단면을 나타낸 것이다.

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

Specimen	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	V	Nb	Ti
SCM 21	0.14	0.02	0.95	0.014	1.12	0.20	-	-	-
D.P.	0.15	2.30	0.81	0.004	1.11	0.22	0.30	0.04	0.004

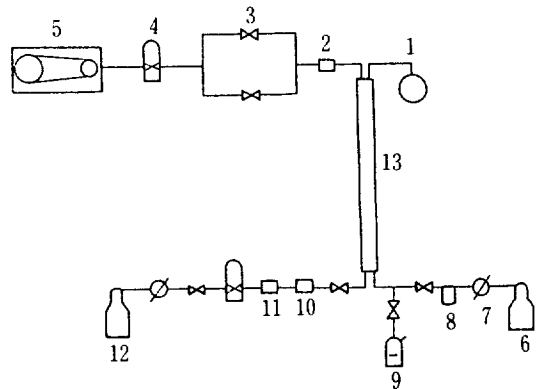


Fig.2. Block diagram of an apparatus for vacuum carburizing.

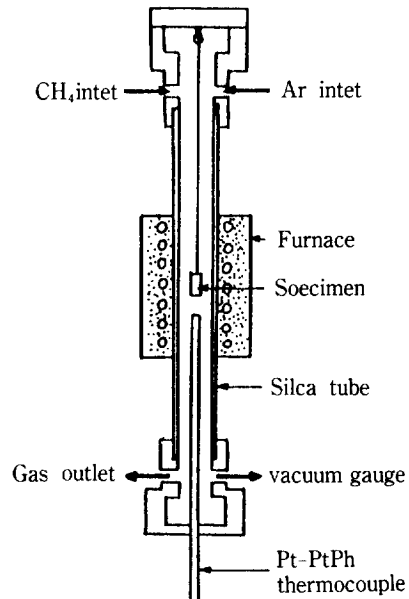
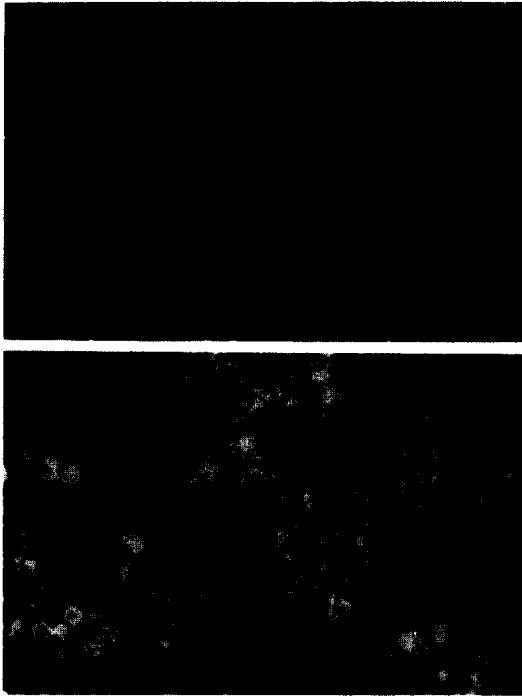


Fig.3. Schematic representation of a vacuum carburizing tube furnace.



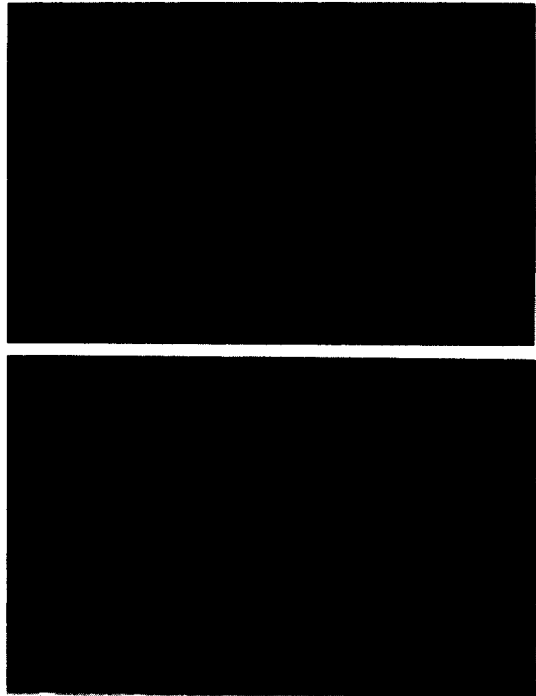
**Photo. 1.** Optical microstructures of vacuum carburized at 1268 k, 61.8 kpa and 14.4 ks(100×).  
a) steel SCM 21, b) steel D.P.

로 내부를 침탄온도까지 가열하여 반응관 내부를 Ar 가스로 퍼징한 후, 시료를 장입하였다. 뚜껑을 밀폐하고, 진공펌프로 배기하여 소정의 진공도에 도달시켰다. 시료가 침탄온도까지 도달되었을 때, 프로판가스를 도입하였다. 이 때 사용한 가스는 시판 가정용 프로판 가스를 이용하여 시리카 겔과 수산화 칼리의 충전층을 순차적으로 통과시켜, 脫濕 및 탈유 처리를 하여 사용하였다.

프로판가스의 압력이 大氣壓 가까이 도달되었을때, 입구, 출구 및 소레노이드 밸브를 조정하여 가스의 유속을 150~300 cm<sup>3</sup>/min.로 유지하면서 침탄시켰다. 침탄조건은 온도가 1228~1308 k, 시간이 0.6~14.4 ks, 가스압력 21.3~61.8 kpa의 범위이다. 시편을 각 조건에서 소정의 시간동안 침탄 후, 850℃로 강하시켜 불속에 Direct quenching 하였다.

### 2.3. 顯微鏡 組織試驗

오오스테나이트 결정입도를 시험하기 위하여 침탄 후, 150℃/h의 속도로 서냉하여 KSD 0205 에 따라 산



**Photo. 2.** Optical microstructures of vacuum carburized at 1308 k, 61.8 kpa and 14.4 ks(100×).  
a) Steel SCM 21, b) Steel D.P.

성 피크린산 알콜 용액을 부식액으로 사용하여, 100 배 배율의 광학현미경으로 측정하였다.

### 2.4. 炭素濃度 및 硬度試驗

침탄에 의한 표면에서 부터 탄소농도분포도를 측정하기 위하여 시료표면을 평면으로 0.3 mm간격의 slice로 만들어 탄소-유황 분석기(모델 : Leco CS 344)에서 1 회 0.5 g정도의 무게로 분석하였다.

경도시험은 시편 중심을 수직으로 절단하여 표면에서 0.1 mm의 간격으로 微少硬度機를 사용하여 측정하였다. 표면경화층 깊이(D.C)는 표면에서 550 H.V가 되는 곳까지의 거리로 계산하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 오오스테나이트 結晶粒度

Photo.1 및 Photo.2는 각각 1268 k 및 1308 k의 온도에서 14.4 ks동안 유지하였을때 SCM 21 및 D.P.강의 표면층 오오스테나이트 결정입도를 나타낸 것이다. 사진에서 알 수 있는 바와같이 동일한 유지 시간의 경

우, 침탄온도가 높을수록 급격히 입자가 조대화 되고 있으며, 침탄온도와 시간이 동일한 경우에도 D.P.강 보다 SCM 21 이 훨씬 조대화되어 있음을 보여준다. 이와 같이 D.P.강이 고온에서의 입자 성장이 억제되는 이유를 크게 두가지로 나누어 설명할 수 있다. 첫째는 탄소가 어느 한정된 농도에 도달할 때까지 Fig.4의 Fe-C-Si계 상태도<sup>16)</sup>에서 알 수 있는 바와같이, 1000°C 정도의 고온에서도 강의 Si의 함유량이 증가할수록  $\alpha + \gamma$ 의 2相이 공존할 수 있는 영역이 확대된다. T. Takayama<sup>17)</sup> 등에 의하면 2相鋼은 고온에서 장시간 가열하여도 입자 성장이 잘 일어나지 않는다고 하였다. 따라서 침탄이 어느 한정된 농도를 초과할 때까지, 특히 침탄강의 중심부 조직은 침탄온도에서도 입자가 조대화되지 않고 남아있게 된다. 두번째 이유는 D.P.에 첨가된 결정립 미세화 원소의 역할을 생각할 수 있다. Table.2<sup>18)</sup>에 고온침탄용 강에서 합금원소의 역할을 나타낸다. 여기서 알 수 있는 바와같이 Si와 V는 오오스테나이트의 결정입을 미세화 시키는데 많은 도움을 준다. 특히 바나듐은 0.3% 정도의 소량으로도 1050°C의 온도에서 바나듐 탄화물이 쉽게 고용되지 않기 때문에, 오오스테나이트 결정입 성장을 효과적으로 제어할 수 있다<sup>18,19)</sup>. 따라서 Fig.5의 Fe-V-C계 상태도<sup>23)</sup>에서 알 수 있는 바와같이 D.P.강의 표면에 탄소가 침탄되어 농도가 증가하여도 오오스테나이트 중에 미세하게 분포된  $V_4C_3$ 탄화물에 의하여 입자성장을 효과적으로 저지할 수 있게 된다.

Table 2. Sutability of alloying element for high temperature carburizing<sup>18)</sup>

元素	變態點	$\gamma$ 결정입도	組織	침탄깊이
Si	◎	○	◎	×
Mn	×	○	×	○
Cr	○	△	×	○
Mo	○	△	×	△
Ni	×	○	×	×
V	◎	◎	○	×

보기 : ◎ 대단히 양호      ○ 양호  
 △ 불명확 혹은 영향 없음    × 불량

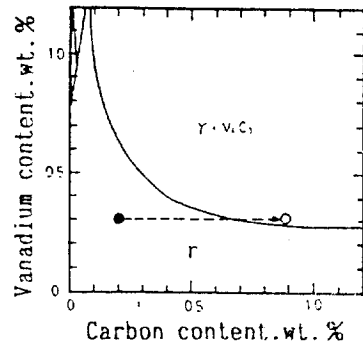


Fig.5. Isothermal section diagram of Fe-C-V system at 1000°C ; after uhrenius.<sup>23)</sup>

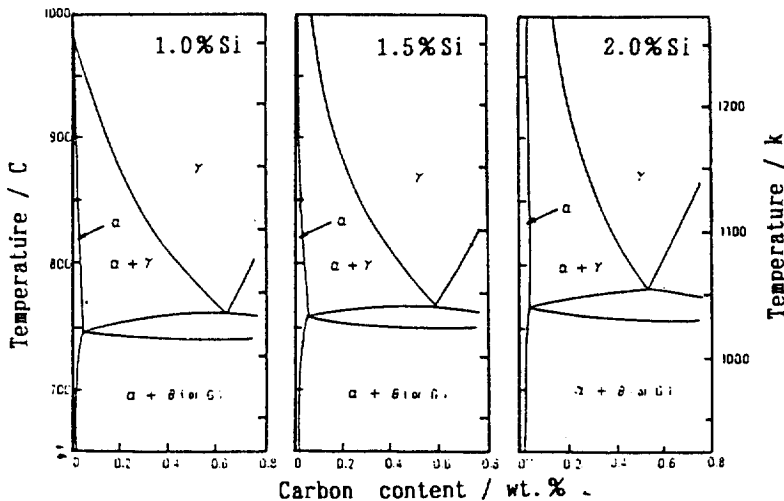


Fig.4. Vertical sections of Fe-C-Si system<sup>16)</sup>

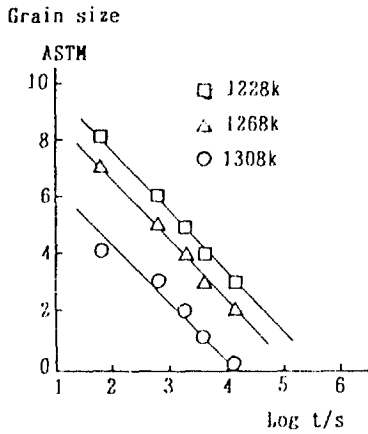


Fig. 6. Grain size as a function of heat treatment time for steel SCM 21.

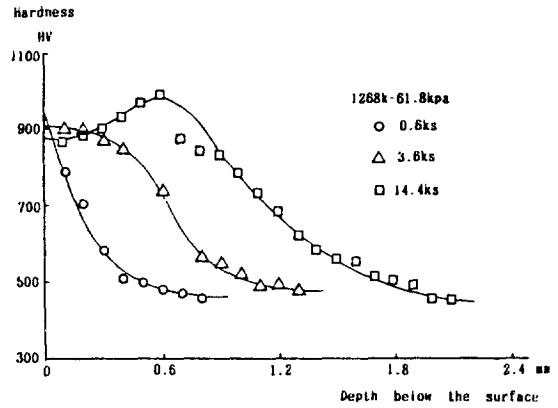


Fig. 9. Hardness as quenched after carburizing at 1268 k-61.8 kpa of steel D.P. for various times.

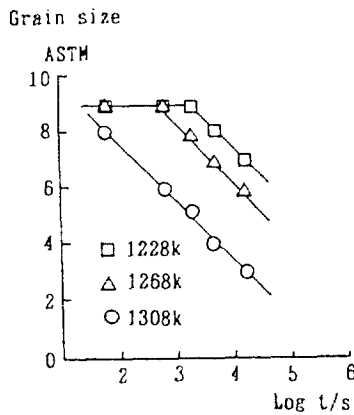


Fig. 7. Grain size as a function of heat treatment time for steel D.P..

Fig. 6 및 Fig. 7은 각각 SCM 21과 D.P.강을 1228~1308 k까지의 온도에서 0.6~14.4 ks까지 가열했을 때 오오스테나이트 결정입도변화를 나타낸 것이다. SCM 21 강은 1.0 mm 이상의 표면 경화층 깊이를 얻기 위하여 필요한 온도와 시간범위에서 ASTM 입도번호 5 이상으로 조대화되었으나, D.P.강은 1.5 mm의 침탄경화층 깊이를 얻는데 소요되는 온도와 시간에서도 ASTM 입도번호 5 이하의 세립강으로 존재함을 나타내고 있다.

### 3.2. 硬度分布 曲線

Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10은 SCM 21 강과 D.P.강을 각각 1268 k에서 21.3 kpa의 분위기에서 침탄했을 때, 표면에서의 거리에 대한 경도분포를 나타낸 것이다. 여기서 表面硬度는 D.P.강이 더 높게 나타나며, 침탄시간

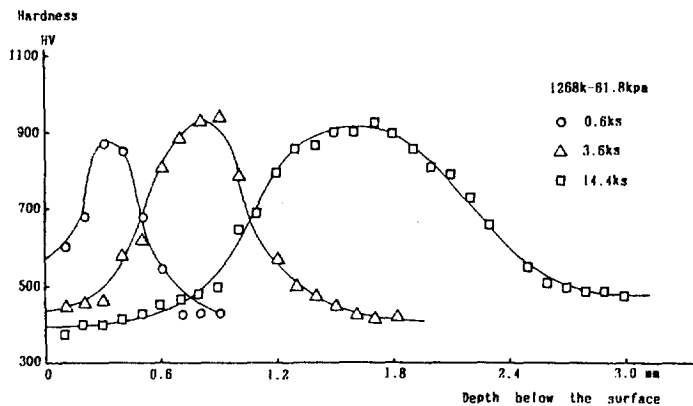


Fig. 8. Hardness as quenched after carburizing at 1268 k-61.8 kpa of steel SCM 21 for various times.

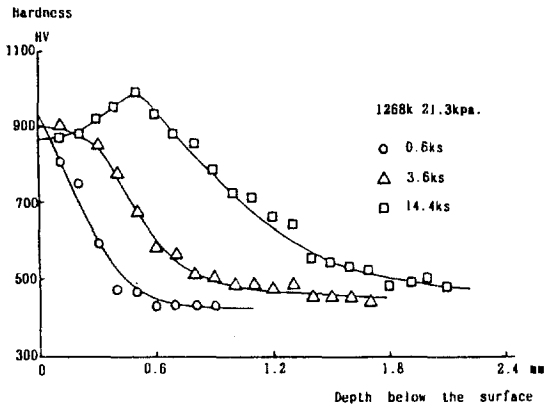


Fig. 10. Hardness as quenched after carburizing at 1268 k-21.3 kpa. of steel D.P. for various times.

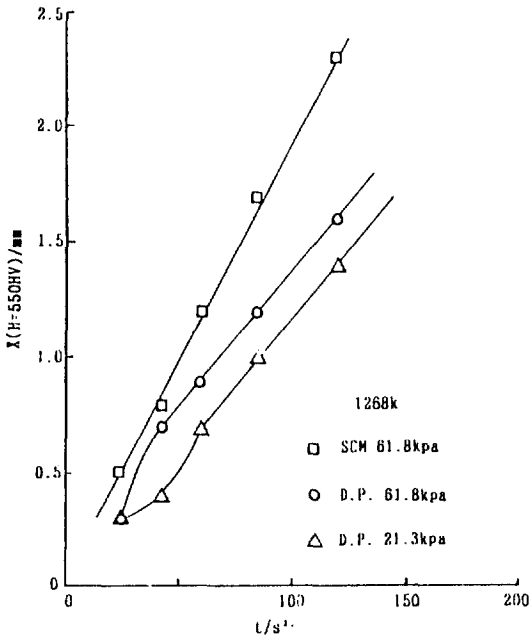


Fig. 11. Changes in case depth to 550 HV with square root of carburizing time.

이 길어질수록 낮아진다. 이것은 침탄으로 炭素濃度 증가에 따른 잔류 오오스테나이트의 양이 증가하기 때문<sup>20)</sup>이며, 실제 표면탄소 농도 분석결과 SCM 21 강을 4 시간 침탄시킨 경우, Ac<sub>m</sub>선의 飽和炭素 농도에 가까운 1.503%로 나타났으며, D.P. 강은 이보다 낮게 나타났다.

SCM 21 보다 D.P.의 최고경도치가 다소 높게 나타나는 것은 微量 합금원소에 의한 오오스테나이트의 결

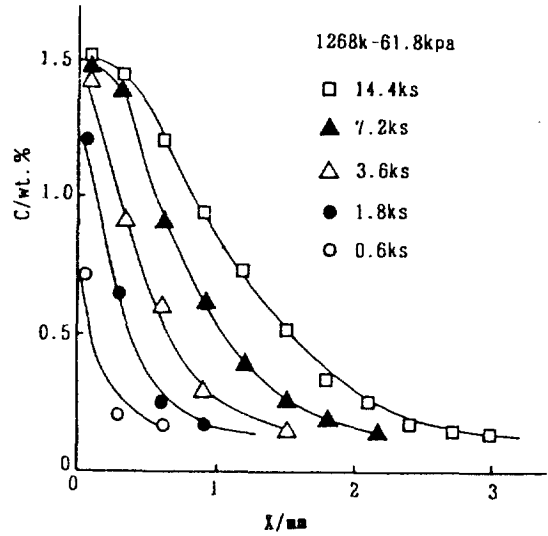


Fig. 12. Carbon concentration distance curves for SCM 21 vacuum carburized for various times.

정입 미세화 효과에 기인한<sup>19)</sup> 것으로 생각할 수 있다. 倭文<sup>18)</sup>은 0.3%바나듐 첨가강에서 1050°C까지의 온도에서 가열시 결정입 성장이 현저히 지연됨을 지적하였다.

동일 온도에서 진공 침탄시킨 경우라도 강종과 침탄 압력에 따라 경화층 깊이가 서로 상이하게 나타나는데, Fig. 11은 침탄압력과 강종이 다른 조건에서 1268 k의 온도로 진공침탄 후 Direct quenching했을 때 표면에서 550 H.V가 되는 곳까지의 거리와 시간의 제곱근과의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 침탄압력이 높을수록 D.P. 보다 SCM 21 강의 침탄경화층 깊이가 증가함을 알 수 있다. 石神<sup>21)</sup> 등이 지적한 바와같이 침탄과정이 강내부의 擴散에 의하여 주로 지배된다고 할때 Fick의 제 2 법칙에 따라 이 그래프는 원점을 지나는 직선이 되어야 한다. Fig. 11에서 SCM 21 강의 모든 시간의 경우와 D.P. 강의 비교적 장시간의 경우 직선관계를 비교적 잘 유지함을 나타내고 있다. 이것은 石神 등의 SNCM 815 강으로 실시한 유사 실험에서, 표면탄소농도가 어느 범위를 초과할 때 이러한 직선관계를 만족시킨다는 결과와 잘 일치함을 나타낸다.

### 3.3. 炭素濃度 分布曲線

SCM 21을 온도: 1268 k, 가스압력: 61.8 kpa로 진공침탄시킨 후, 표면에서 0.3 mm간격으로 탄소농도를 분석하여 침탄시간에 따라 나타내면 Fig. 12에 나타낸

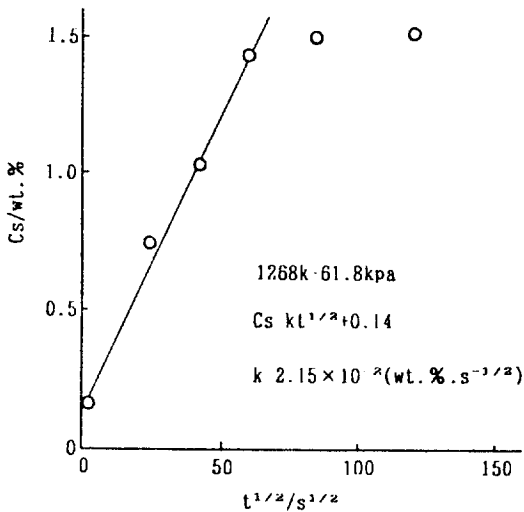


Fig. 13. Changes in surface carbon content with square root of carburizing time.

것과 같다. 표면탄소농도는 침탄시간 14.4 ks일 때 1.503%로 최고치가 되며, 침탄시간이 增加함에 따라 다소 증가하는 경향이 있지만, 3.6 ks 이상에서는 거의 일정한 포화치에 접근하고 있다. 이 값은 石神 등의 SNCM 815에서 얻어진 1.49%와 거의 비슷한 값<sup>21)</sup>이며, 철에 대한 시멘타이트의 고용한도(1273 k에서 1.55%<sup>22)</sup>)와 접근하는 값으로 침탄시간을 더욱 연장하여도 증가되지 않는 것으로 알려져 있다.<sup>21)</sup> Fig. 8에서 나타난 침탄시간 증가와 함께 표면부 과잉침탄에 의한 경도감소 결과에 대한 원인을 이와 관련시켜 고찰하면 더욱 명백하게 된다.

Fig. 12에서 표면탄소농도를  $C_s$ 라 하고 침탄시간  $t$ 의 평방근에 대하여 Plot하면 Fig. 13과 같다. 표면탄소농도가 고용한도에 도달하기 이전의 시간(3.6 ks)까지는 직선적인 관계를 나타내지만, 그 이후는 직선관계에서 벗어나고 있음을 알 수 있다. 직선관계를 유지하는 부분은 흑연상의 탄소가析出하기 이전의 단계<sup>21)</sup>로 볼 수 있으며, 근사적으로 다음과 같은 관계식으로 표시할 수 있다.

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

여기서  $k$ 는 상수이며,  $C_0$ 는 침탄전 試料의 초기 탄소농도이다. 본 실험에서 구한  $k$ 의 값은  $2.15 \times 10^{-2}$  (wt. % .  $s^{-1/2}$ )로 SNCM 815에서 얻어진 값<sup>21)</sup>보다 다소 낮다.

#### 4. 결론

프로판을 사용하여 SCM 21과 D.P.강을 온도; 1228~1308 k, 가스압력; 21.3~61.8 kpa의 범위로 진공침탄을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. D.P.강은 SCM 21보다 고온침탄시 결정입 성장억제에 탁월한 효과를 나타내며, 1268 k에서 14.4 KS까지의 침탄으로도 세립강으로 존재하여, 진공 침탄용 소재로서 적당함을 나타내었다.

2. 침탄온도 증가에 따라 表面硬化層 깊이는 증가하며, SCM 21강의 경우, 온도; 1308 k, 시간; 14.4 ks, 압력; 61.8 kpa의 조건에서 3.2 mm의 표면경화층 깊이를 나타내었다.

3. 동일 침탄조건에서 D.P.보다 SCM 21의 표면경화층 깊이 증가속도가 크고, 시간에 따른 경화층 깊이 증가 비율이 균일하였다.

4. 동일침탄 조건에서 가스압력이 증가할수록 표면경화층 깊이가 증가하였다.

5. SCM 21의 眞空浸炭시 표면탄소온도  $C_s = kt^{1/2} + C_0$ 의 관계식에 따라 변하며,  $k$ 의 값은  $2.15 \times 10^{-2}$  (wt. % .  $s^{1/2}$ )으로 SNCM 815에서 얻어진 값보다 다소 낮다.

#### 5. 후 기

본 연구는 1989년도 産學協同財團 연구비 지원에 의하여 이루어진 결과의 일부로서 이에 深甚한 謝意를 표하는 바입니다.

#### 6. 참고문헌

1. H.W. Western : Metal Progress, Oct, (1972), 101.
2. W.J. Doelker : Metal Progress, May, (1970), 50.
3. R.G. Weber : Powder Met.Int., Vol., 15, No.2, (1983), 94.
4. G.V. Polyak and Yu.P. Usaty : Plenum, Pub., Corp., (1986), 154.
5. D.H. Herring and G.P. Reed : Metallurgia, May, (1986), 169.
6. 淺田千秋, 渡邊敏 : 電氣製鋼, 34, (1963), 122.

7. 倭文邦郎：金屬表面技術, 19(1986), 159.
8. 足立 影, 山田新太郎：金屬表面技術, 13(1962), 487.
9. K. Shibata, T. Matsumoto, S. Fujii and K. Takada : Trans. ISIJ, 25(1985), 1251.
10. 安藤 繁, 中山泰宏, 下尾聰夫, 木村 弘：日本金屬學會誌, 50(1986), 979.
11. 村上弘三：熱處理, 17(1977), 298.
12. 奥村 望：熱處理, 24(1985), 280.
13. 河上益夫：日本金屬學會報, 2(1963), 318.
14. S. Ando, Y. Okamoto, T. Shimoo And H. Kimura ; Trans. JIM, 27(1986), 441.
15. 安藤繁, 下尾聰夫, 木村弘：日本金屬學會誌, 50(1986), 398.
16. T. Sato : Tech. Rep. Tohoku Univ., 9(1929/30), 515.
17. T. Takayama, M. Wey and T. Nishizawa : Tetsu-to-hagana, 68(1982), 1016.
18. 倭文邦郎：金屬表面技術, Vol.19, No.4(1963), 159.
19. Bain, E.C., and Paxton, H.P. : Alloying Elements in Steel, ASM(1961).
20. K.E. Thelning : Steel and its Heat Treatment, 2 nd Ed.(1984), 472.
21. 石神逸男：日本金屬學會誌, Vol.50, (1986), 845.
22. 田中良平：鐵斗鋼, 53(1967), 1586.
23. B. Uhrenius : Hardenability Concepts with Application to Steel, Ed. by D.V. Done and J.S. Kirkardy, AIME, Penn., (1978), 28.