

論文

유동상 침탄시 저탄소 합금강의 침탄능에 미치는 Ni 함량 및 분위기 가스압력의 영향

노용식 · 김영희 · 이상윤
동아대학교 공과대학 금속공학과

Effects of Ni Content and Atmosphere Gas Pressure on the
Carburizability Low-Carbon Alloy Steels During Fluidized-bed Carburizing

Y. S. Roh · Y. H. Kim · S. Y. Lee

Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714

ABSTRACT

This study has been conducted to establish the carburizing characteristics of low carbon alloy steels with varying amount of Ni element gas-carburized for 2 hours at 930°C in an atmosphere of 94% N₂-6% C₃H₈ gas mixture with some changes in gas pressure passing through the diffusion plate in the fluidized-bed furnace. The results obtained from the experiment are as follows :

- (1) Optical micrograph has shown that the carburized layer consists of retained austenite and plate martensite and that retained austenite increases as the pressure of gas mixture passing through the diffusion plate as well as Ni content increase.
- (2) Chemical analysis has shown that carbon potential increases and carburizability is also improved due to a less degree of fluidization as the pressures of gas mixtures passing through the diffusion plate increase, resulting in, however, a severe formation of soot, and the gas pressure is necessarily regulated.
- (3) It has been revealed that carbon concentration hardness values at a given distance measured from the surface within the carburized case. Increase with increasing the pressure of gas mixtures passing through the diffusion plate and decrease with increasing Ni content.
- (4) The effective case depth has been shown to almost linearly increase as the pressure of gas mixtures passing through the diffusion plate is increased and to decrease with increasing Ni content.

1. 서 론

유동상 열처리하는 내열 레토르트 아래 부분에 다공질 가스 분배관을 배치하고 이곳으로 가스를 유입시켜 레

토르트 내부에 충전된 알루미늄 등의 열촉매제를 유동 화시키는 것으로 적은 설비 비용과 빠른 열처리속도를 가진 유동상 열처리로는 비교적 적은 부품의 침탄처리에는 매력적이다.

유동상을 이용한 가스침탄은 1960년대말에 관심을 갖게 되었고 초기연구는 주로 소련에서 이루어졌으며, Ishakov 등은¹⁾ 유동상 침탄속도는 일반가스 침탄의 경우보다 약 3~5배 빠르다고 하였다. 유동상 침탄은 유동상 매체에 의한 열전달계수 증가로²⁾ 침탄 온도까지 승온시키는데 필요한 시간은 일반가스 침탄에 비해 아주 짧은 10~15분이면 도달될 수 있으며 일반 가스침탄에서는 그을음(soot)이 제품의 표면에 부착되어 탄소의 확산침투를 억제하지만 유동상 침탄에서는 유동입자와 가스의 격렬한 움직임으로 제품표면을 깨끗한 상태로 유지시켜주며, 또 제품의 표면에 공급될 가스(CO)의 활동도를 크게 증가시킨다³⁾.

유동상 열처리 특성은 유동화 상태에 좌우되며 유동화상태는 가스의 유속과 입자의 크기 및 분포, 분배관의 모양, 레토르트 직경과 높이의 비등에 좌우되며^{4,5,6)} 유동상 열처리시 배기가스의 배출이 억제됨으로 인한 확산판(diffusion plate) 통과하는 가스의 압력증가도 유동상 열처리 특성에 큰영향을 미칠 것이다. 일반 가스 침탄에서는 가스조정, 침탄온도와 시간 및 강의 조성이 침탄깊이에 영향을 미치며 유동상 침탄처리시 침탄깊이에 영향을 주는 분위기 조성에 관한 자료는 다수 있으나^{7,8,9)} 확산판을 통과하는 가스압력이 침탄층에 미치는 영향에 관한 자료는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 유동상 침탄 처리시 확산판을 통과하는 가스압력과 Ni 함량이 강의 침탄능에 미치는 영향을 현미경조직, 탄소농도분석 및 경도분포 곡선을 이용해 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 시 료

본연구에 사용된 시료는 30 kg용량의 고주파 진공유도 로에서 용해하였으며, 진공 주조한 잉곳을 30 mm×65 mm의 단면적을 갖는 각재로 열간단조후 단조중에 형성된 잔류응력을 제거하고 모든 시험편의 현미경조직을 표준화하기 위하여 900°C에서 1시간 유지한 다음 공냉하였다. 이로부터 분석된 시료의 화학조성은 Table. 1과 같다.

2.2. 침탄처리

침탄처리는 유동상로(fluidized bed furnace, 유효치수 150 mmφ×30 mm, 15 kW)에서 질소 분위기에 프로

Table 1. Chemical composition of specimens, wt. %

Steel	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Al
A	0.20	0.30	0.70	0.46	0.48	0.17	0.036
B	0.21	0.20	0.61	0.97	0.47	0.25	0.026
C	0.18	0.17	0.61	1.95	0.53	0.25	0.028

판 비율을 6%로 일정하게 하고 확산판을 통과하는 가스의 압력을 950, 1100 및 1300 mmAq로 하여 930°C에서 2시간동안 침탄처리 후 상온의 물에 급냉하였으며, 급냉된 시료를 180°C에서 1시간동안 템퍼링하였다. 유동상로의 중심부에서 온도가 균일하게 유지되고 침탄처리를 효과적으로 하기 위하여 Al₂O₃ 입자로 구성된 유동층(fluidized layer)의 유동화를 최적상태로 유지되도록 N₂ 및 C₃H₈의 혼합가스를 확산판을 통하여 유입시켰으며 유량계(flow meter)에 의해서 측정된 혼합가스의 총 유량은 1.5 m³/Hr이었다.

2.3. 탄소농도 분석시험

침탄처리 분위기중의 탄소포텐셜을 측정하기 위하여 각 조건에서 가스투입 30분 후와 2시간 처리후 0.1% C의 박강판(steel foil)을 10분간 유지한 후 상온의 물에 급냉하였다. 이로부터 채취된 시료를 습식분석하여 얻어진 탄소농도를 각 분위기중의 탄소포텐셜로 하였다. 침탄 처리된 시편에 대해 표면으로부터의 탄소농도를 분석하기 위하여 시편의 표면층을 0.1 mm씩 연마한후 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 시편의 두께를 측정하면서 발광분광분석기로 분석하였다.

2.4. 현미경 조직시험

침탄처리된 시편을 마운팅한 후 일반적인 현미경 조직 시험용 시편준비 과정에 따라 정마하여 3% nital로 분석시킨후 침탄층의 미세조직을 관찰하기 위하여 광학현미경(optical microscope, Nikon NEC-5)을 사용하였다.

2.5. 경도시험

침탄처리후 켄칭한 시편의 표면경화 효과는 표면층으로부터 깊이에 따른 경도변화로서 나타내기 위하여 미소빅커스 경도시험기(micro Vickers hardness tester, Matsuzawa MVK-E)를 사용하여 단면경도를 측정하여 표면으로부터 거리에 따른 경도변화 곡선을 얻었다.

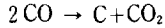
3. 실험결과 및 고찰

3.1. 유동상 침탄반응기구

일반적인 침탄공정에서 주요한 침탄반응 단계는 다음과 같다.

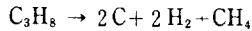
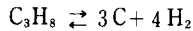
첫째, 침탄매체(CO)의 강 표면쪽으로 이동

둘째, 강 표면에서 석출하는 탄소원자의 화학적 반응

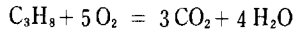


셋째, 강 표면으로부터 오스테나이트 기지조직내로 탄소원자의 확산은 다소 복잡하며 여러 단계에서 연속적으로 일어날 것이며 다음과 같은 반응이 일어날 수 있다.

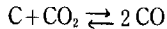
(1) 탄화수소의 분해



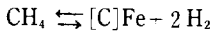
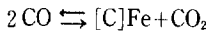
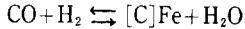
(2) 탄화수소의 연소



(3) 탄화수소의 분해생성물과 연소생성물에 의한 CO 생성

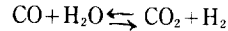


(4) CO와 CH₄의 촉매분해에 의해 침탄이 일어난다.



여기서 [C] Fe는 오스테나이트 중에 확산해 들어간 탄소이다.

(5) 위의 반응에 의해서 형성된 CO, CO₂, H₂ 및 H₂O는 준평형에 도달하기 위하여 이른바 가역적인 물가스 반응(water gas reaction)이 일어난다.



침탄반응은 (4)식에 의해 주로 일어날 것이며 전체적인 반응속도는 Arrhenius 형태를 따를 것이다.

3.2. 현미경조직 관찰

94% 질소-6% 프로판 분위기하의 930°C에서 확산판을 통과하는 가스의 압력변화를 950, 1100 및 1300 mmAq로 변화시킨 후 2시간동안 침탄처리한 Steel A의 표면층 조직을 Fig.1에 나타낸다. 각 처리조건에서 공히 표면층에는 잔류 오스테나이트와 플레이트 마르텐사이트가 혼재되어 있으며 확산판을 통과하는 가스의 압력이 증가될수록 잔류 오스테나이트의 양이 다소 많아짐을 볼 수 있다. Fig.2는 94%질소-62% 프로판 분위기하의 930°C에서 확산판을 통과하는 가스의 압력을 950 mmAq로 하여 2시간동안 침탄처리한 Steel A, B 및 C의 침탄층 조직을 나타낸다. Steel A, B 및 C 모두 표면층은 잔류 오스테나이트와 플레이트 마르텐사이트로 구성되어 있으며, Ni함량이 증가함에 따라 Ms가 감소하기 때문에¹⁰⁾ 표면에는 잔류 오스테나이트양이 증가되고 플레이트 마르텐사이트가 조대해짐을 볼 수 있다.

3.3. 탄소농도 분석

94% 질소-6% 프로판 분위기하의 930°C에서 확산판을 통과하는 가스의 압력을 950, 1100 및 1300 mmAq

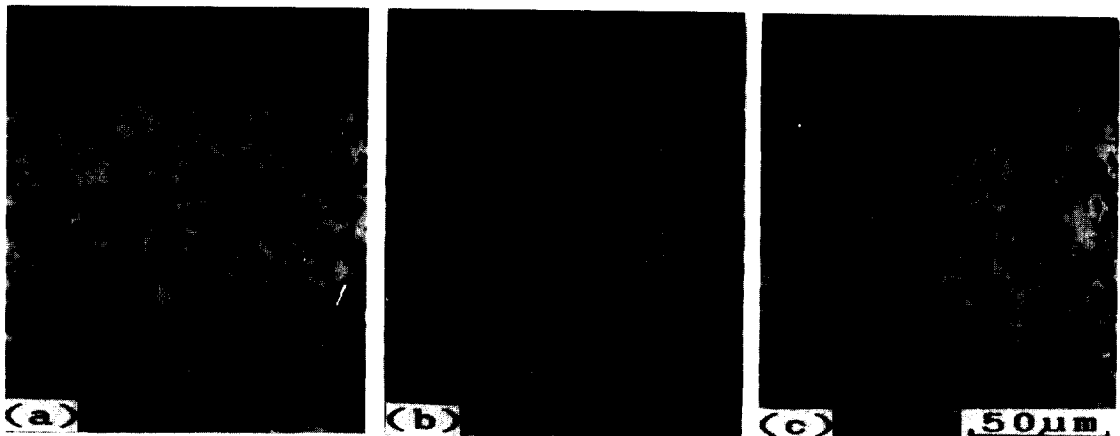


Fig.1. Microstructures of steel A gas-carburized for 2 hours at 930°C in a gas atmosphere of 94%N₂-6%C₃H₈ with the following pressures of gas mixtures passing through the diffusion plate.

(a) 950 mmAq (b) 1100 mmAq (c) 1300 mmAq

로 변화시키며 침탄처리시 유동상 분위기중의 탄소포텐셜 변화를 Fig.3에 나타낸다. 확산관을 통과하는 가스의 압력이 증가함에 따라 탄소포텐셜은 증가하며, 프로판 투입 30분후 레토르트 내부의 탄소포텐셜은 0.80% C 이상임을 볼 수 있고, 가스투입시간이 증가될수록 탄소포텐셜의 농도는 더 증가함을 볼 수 있다.

유동상 침탄에서는 유동화를 위해 일반 가스침탄에 비해 가스 투입량이 많기 때문에 가스가 레토르트 내부

에 체류할 시간이 비교적 짧아 가스반응이 평형상태에 도달할지 의문이 야기된다. 그러나 Sommer⁹⁾는 질소-메탄올 분위기 유동상 침탄의 경우 정상 유동화 속도에서 가스가 레토르트를 통과하는 시간은 평균 15~20 초 이내이지만 미세한 알루미나 입자들에 의한 표면적이 대단히 크기 때문에 유동상 침탄시에는 거의 평형상태에 도달할 것이라고 하였다. 질소-프로판계 분위기에서 확산관내로 투입된 가스중 프로판은 레토르트 내부



Fig.2. Microstructures of steel A, B and C gas-carburized in a gas atmosphere of 94%N₂6%C₃H₈ for 2 hours at 930°C under a given 950 mmAq of gas mixture passing through the diffusion plate.

(a) steel A (b) steel B (c) steel C

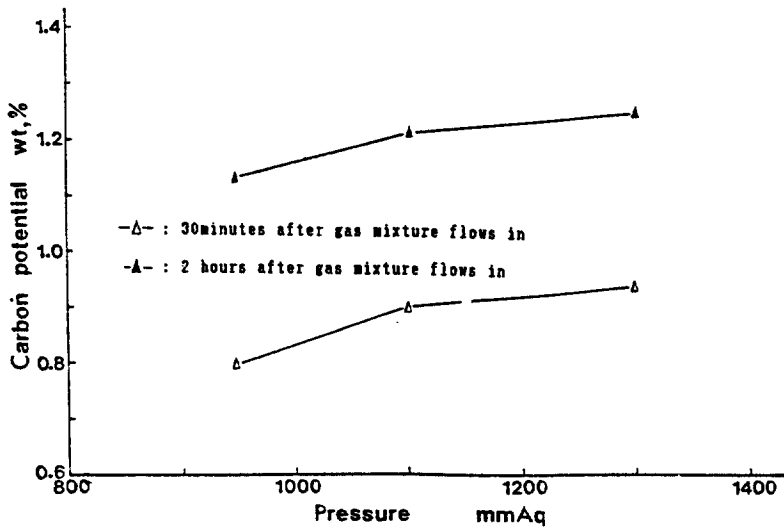


Fig.3. Variation of the carbon potential with the pressure of gas mixture passing through the diffusion plate for the gas carburizing under taken at 930°C in a gas atmosphere of 94%N₂-6%C₃H₈ in the fluidized-bed furnace.

에 산소가 존재하지 않으므로 우선적으로 C와 CH₄로 열분해될 것이며, 분위기중의 가스압력이 증가되면 유동화가 억제됨으로 인해 레토르트 내부에 투입된 가스는 체류시간이 증가하게 되고 CH₄는 C와 H₂로 재분해되어 유동상 분위기중의 탄소포텐셜은 증가하게 되지않 분해된 과잉의 탄소에 의해 그늘음이 형성될 것이다.

Fig.3의 분위기에서 2시간동안 침탄 처리한 Steel A의 표면으로 부터의 탄소농도 변화를 Fig.4에 나타낸다. 표면층의 최대 탄소농도는 0.1mm 위치에서

1.12~1.14%C를 나타내며 표면으로부터 일정한 거리에서 압력이 증가함에 따라 탄소농도가 다소 증가하는 경향을 나타내며, 확산 침투최대거리는 950 mmAq 경우 0.92 mm, 1100 mmAq 경우는 0.94 mm, 1300 mmAq 경우는 0.96 mm 정도가 됨을 알 수 있다. 94% 질소-6% 프로판 분위기하의 930°C에서 확산판을 통과하는 가스의 압력을 950 mmAq로 유지하여 2시간 침탄처리한 Steel A, B 및 C에 대한 표면으로 부터의 탄소농도 분포 변화를 Fig.5에 나타낸다. 표면층의 최대 탄소농

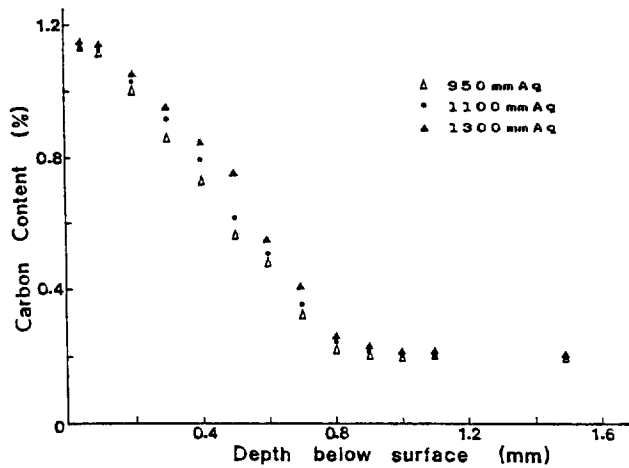


Fig.4. Carbon profiles of steel A gas-carburized for 2 hours at 930°C in a gas atmosphere of 94%N₂-6%C₃H₈ with various pressures of gas mixture passing through the diffusion plate.

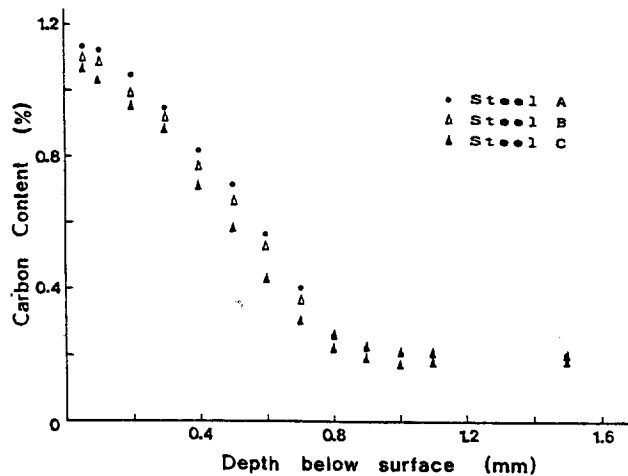


Fig.5. Carbon profiles of steel A, B and C gas-carburized in a gas atmosphere of 94%N₂-6%C₃H₈ for 2 hours at 930°C under a given 950 mmAq of gas mixture passing through the diffusion plate.

도는 Steel A가 표면으로부터 0.1mm에서 1.14%C를 나타내며 Steel B와 C는 0.1mm위치에서 1.10%C, 1.06%C를 나타낸다. 표면으로부터 일정한 거리에서 탄소농도는 Ni함량이 증가함에 따라 감소하며 탄소 최대 침투 깊이는 Ni함량이 적은 Steel A가 0.92mm이며 Steel B는 0.90mm, Steel C는 0.87mm가 됨을 볼 수 있다. 이같이 동일한 분위기에서 Steel A, B 및 C의 탄소함량에 차이가 나는 것은 합금화원소에 의한 것이며, Dawes와 Tranter¹¹⁾는 분위기 중의 유효 침탄포텐셜(effective carburizing potential)은 Cr, Mn 및 Mo와 같이 철보다 더 안정한 탄화물을 생성할 수 있는 합금화 원소에 의해 증가되는 반면, 강력한 탄화물 형성 원소가 아닌 Si와 Mn 등의 합금화 원소에 의해서는 유효 침탄포텐셜이 감소된다고 하였다.

3.4. 경도측정

94% 질소-6% 프로판 분위기하의 930°C에서 확산관을 통과하는 가스의 압력을 950, 1100 및 1300 mmAq로 유지하여 2시간동안 침탄처리후 켈칭한 Steel A에 대한 표면으로부터의 경도변화를 Fig.6에 나타낸다. 최고경도는 950 mmAq의 경우 표면으로부터의 0.4 mm

에서 820 VPN이며 1100 mmAq와 1300 mmAq의 경우는 0.4 mm에서 800 VPN임을 볼 수 있고 또 최대 경화깊이는 950 mmAq경우 0.92 mm가 되고 1100 mmAq는 0.94 mm이며, 1300 mmAq 경우는 0.97 mm가 됨을 알 수 있다. 앞의 탄소농도 분포곡선인 Fig.5에서 보았던 것처럼 압력이 증가함에 따라 유동화 억제에 의해 로내 탄소포텐셜이 증가하기 때문이다.

Fig.7은 94% 질소-6% 프로판 분위기하의 930°C에서 확산관의 압력을 950 mmAq로 유지하여 2시간동안 침탄처리후 켈칭한 Steel A, B 및 C에 대한 표면으로부터의 경도변화를 나타낸다. 최고경도는 표면층으로부터의 0.4 mm 범위에서 Steel A는 820 VPN을 Steel B는 800 VPN, Steel C는 780 VPN을 나타내고, Ni함량이 증대됨에 따라 최고 경도값이 감소하며 최고 경도값 이상의 일정거리에서 Ni함량이 증대될수록 경도값이 저하됨을 볼 수 있다. 탄소농도 분포곡선에서 볼 수 있었던 것처럼 첨가되는 합금화원소에 의한, 유효 침탄포텐셜의 변화에 기인한 것이고, 표면에서 최고 경도치까지의 경도값 저하는 침탄처리시 탄소 함량의 증대로 인한 켈칭시 생성된 잔류 오스테나이트에 기인하며 Ni은

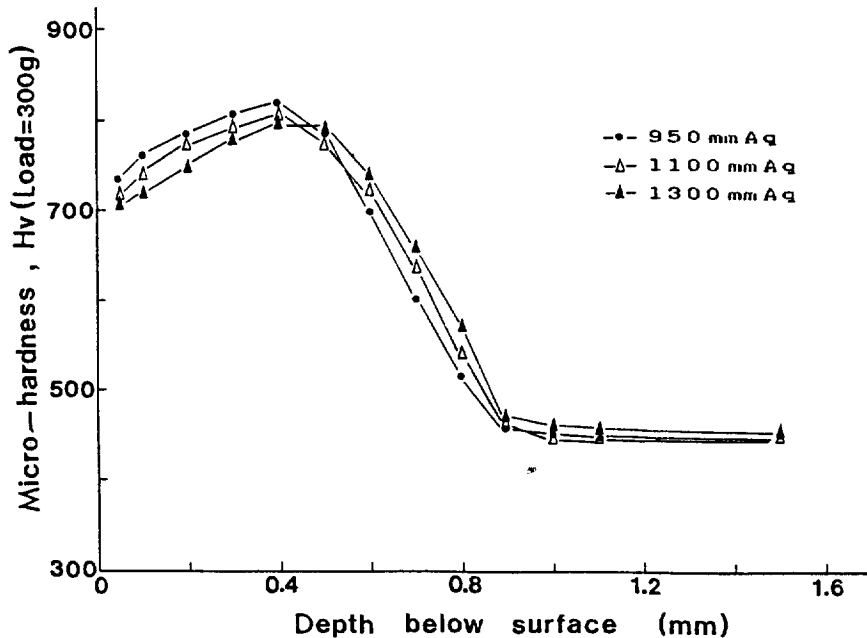


Fig.6. Micro-hardness profiles of steel A gas-carburized for 2 hours at 930°C in a gas atmosphere of 94%N₂-6%C₃H₈ with various pressures of gas mixture passing through the diffusion plate.

Ms점을 저하시키므로 Ni함량이 증가될수록 잔류 오스테나이트량이 더 많아지므로 경도값이 더 저하함을 볼 수 있다. 전 침탄 깊이는 탄소분포 곡선에서 볼 수 있었던 것처럼 Ni함량이 증가함에 따라 다소 감소하며 Ni함량이 많은 Steel C의 경우는 0.87 mm이고 Steel B는 0.90 mm이며 Steel A는 0.92 mm가 됨을 알 수 있다.

94% 질소-6% 프로판 분위기하의 930°C에서 2시간 침탄처리시 확산판내의 압력변화에 따른 Steel A, B 및

C의 유효경화층 깊이를 Fig.8에 나타낸다. 확산판을 통과하는 가스의 압력증가에 따른 유효화 억제로 레토르트 내부의 탄소포텐셜은 증가함으로 유효경화층 깊이는 증가하는 반면 Ni함량 증가에 따른 유효경화층 깊이는 감소하는 경향을 나타낸다. 강에 첨가된 Ni원소는 강력한 탄화물 형성원소가 아니기 때문에 침탄층 향상에 기여하지 못함을 알 수 있다.

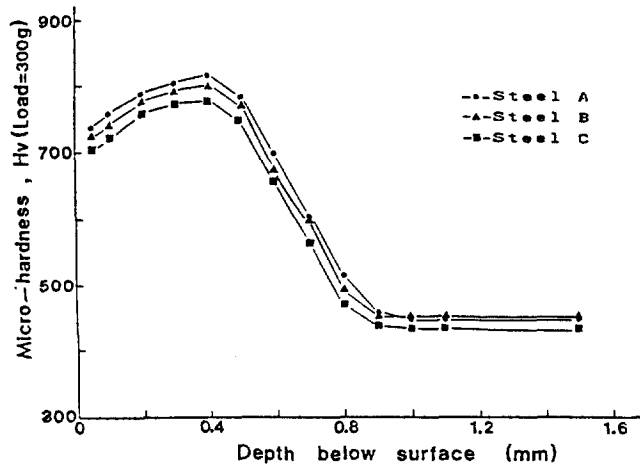


Fig.7. Micro-hardness profiles of steel A, B and C gas-carburized in a gas atmosphere of 94%N₂-6%C₃H₈ for 2 hours at 930°C under a given 950 mmAq of gas mixture passing through the diffusion plate.

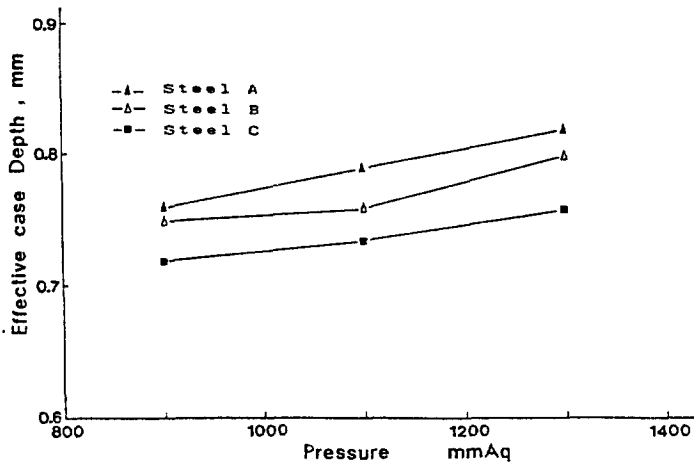


Fig.8. Variation of the effective case depth measured to 550 Hv with the pressures of gas mixture passing through the diffusion plate.

4. 결 론

94% 질소-6% 프로판 분위기하의 930℃에서 확산관을 통과하는 가스의 압력을 변화시키고 Ni함량을 달리 한 저탄소합금강을 2시간 동안 유동상 침탄 처리후 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 침탄층은 잔류 오스테나이트와 플레이트 마르텐사이트로 혼재해 있으며, 확산관을 통과하는 가스의 압력과 Ni함량이 증가함에 따라 더 많은 잔류 오스테나이트가 형성된다.
- 2) 유동상 침탄시 확산관을 통과하는 가스의 압력이 증가함에 따라 유동화 억제로 인하여 탄소포텐셜은 증가하여 침탄능은 향상되지만, 그올음이 심하게 형성되므로 가스압력의 조절이 필요하다.
- 3) 표면으로부터 일정거리에서 측정된 탄소농도 및 경도값은 확산관을 통과하는 가스의 압력이 증가함에 따라 증가하며, Ni함량이 증가할 경우 감소한다.
- 4) 유효경화층 깊이는 확산관을 통과하는 가스의 압력이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하며, Ni함량이 많을수록 감소하였다.

5. 참고문헌

1. S.S. Ishakov, P. Lomova and Yue Strukov : Metal Science and Heat Treatment, 1969, vol.11, p.899-901
2. R.W. Reynoldson : Heat Treatment of Metals, 1976.4. p.92-100
3. A.S. Zavarov and S.V. Grachev : Metal Science and Heat Treatment, 1987, vol.29, p.762-764.
4. D.Kunii and O. Levenspiel : "Fluidization engineering" Chaps. 4.5 and 9. 1969, New York, John, wiley.
5. J.R. Grace : in "Handbook of multi phase system"(ed, G.Histroni), chap. 8.1 : 1982, New York, Hemisphere Publishing Corp.
6. M.A. Doheim and R.M. Himmo : Materials Science and Technology, 1988, vol.4, p.371-376.
7. J.J. Moore and G.G. Storey : J. Heat Treating 1981, vol.2, p.113-120.
8. J.A. Virta : Heat Treatment '84, p.15.1-15.4.
9. P.Sommer : Heat Treatment of Metals, 1987.1, p.7-10.
10. G.Krauss and A.R. Marder : Met. Trans. 1971, vol.2, p.2343-2357.
11. C.Dawes and D.F. Tranter : Heat Treatment of Metals, 1974.4, p.121-130.