

論 文

# 세라믹 주형법에 의하여 주조된 SM50C 강의 탈탄과 그 방지에 관한 연구

李善浩\*, 李京桓\*\*, 姜春植\*

## Study on Decarburization and Its Prevention of SM50C Steel Casted by the Ceramic Mold Process

Seon-Ho Lee\*, Kyong-Hwan Lee\*\*, Choon-Sik Kang\*

### Abstract

Decarburization phenomena of SM50C steel casted in ceramic mold was investigated. As result, decarburized depth increased by increased by increasing the volume-to-surface area ratio and mold temperature. And the relations between them is  $y(\text{cm}) = (1.96 \times 10^{-5}T + 0.0135) \times M - 1.05 \times 10^{-5}T + 9.73 \times 10^{-3}$ . When mold is controlled by Ar gas, reducing atmosphere, decarburized depth is decreased. In case of adding graphite powder in the mold, decarburization is decreased more. Specially, when graphite powder is added on the mold materials and the wax is layed on the mold, decarburization is almost prevented.

### 1. 서론

최근 구조재에 대한 고기능성에 대한 요구 증대로 정밀주조품에 대한 관심이 고조되고 있다. 정밀주조품은 기계가공을 거의 하지 않은 상태로 사용하기 때문에 주방(as-cast)상태에서 표면조직이 중요하다. 탄소가 포함된 강에서는 고온의 산소와 강중의 탄소가 반응하여 CO, CO<sub>2</sub>를 생성하면서 주물의 표면에 탈탄을 유발시킨다. 탈탄 결합은 주물을 정밀주조품의 특징인 비가공 상태로 사용할때 사용중에 균열시발점으로 작용하여 재료의 피로강도를 저하시키는 역할<sup>(1)</sup>, 표면강도의 저하로 인한 치수변화를 일으키는 역할을 하게 된다. 따라서 주조공정 자체를 엄밀히 분석하여 탈

탄을 방지할 수 있다면 매우 유용할 것이다.

본 연구에서는 국내에서는 정밀주조법에 의한 제작으로서는 실용화 초기단계에 있으며, 고무용, 플라스틱용, 단조용 금형 등에 이용될 수 있는<sup>(2)</sup> SM50C강을 사용하였으며, composite 세라믹 주형법을 사용하여 주조한 후 Gas-Metal 반응에 의한 표면탈탄을 조사하고자 하였다. 그리고 이러한 실험의 결과로 표면 탈탄을 방지할 수 있는 적절한 주조조건을 마련하고자 하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 주형재료

표면층 성형용 내화물은 지르콘 미분, 지르콘

\*서울대 금속공학과(Dept of Metallurgical Engr, Seoul Univ.)

\*\*생산기술원(Korea Academy of Industrial Technology)

샌드, 샤모트 샌드를 V-blender에서 4시간 동안 혼합하여 사용하였다. 또 주형중에 흑연을 첨가한 재료는 Ball mill에서 100rpm으로 5시간 동안 혼합하여 사용하였다. 그리고 배면주형용 내화물은 열팽창성이 작은 샤모트 샌드를 사용하였다.

점결제로는 에틸실리케이트 40에 SiO<sub>2</sub>의 양을 20%를 목표로 하여 알콜을 첨가하고, 85% 가수분해에 맞는 H<sub>2</sub>O를 첨가하여 사용하였다. 점결제 100ml에 내화물 650g을 사용하였으며, 주형중에 흑연을 사용할때는 점도가 증가하는 것을 고려하여 100ml에 600g을 사용하였다. 그리고 경화제로는 (NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1N 용액 7~10%를 사용하였다.

2.2 시편의 제작

먼저 volume-to-surface area(이하 V/S라 표기)에 의한 탈탄의 영향을 조사하기 위하여, V/S가 0.59, 1.08, 1.5의 세가지인 계단형상의 시편을 제작하였다. 시편을 제작하기 위한 모형은 Photo. 1과 같으며, 각각의 계단의 치수는 50mm × 130mm × 15mm, 50mm × 130mm × 30mm, 50mm × 130mm × 45mm로 하였다.

시험에서 사용한 재료는 Table 1에서 표시한 바와 같은 조성의 SM50C로서 주조를 용이하게 하기 위하여 Si을 약 0.6%정도 첨가하여 사용하였다. 용해로는 Inductotherm Co. 제품인 75kw, 3000Hz 고주파 유도로 25kg 용량의 것을 사용하여 1680℃에서 래들을 사용하지 않고 노에서 직접 주형에 주입하였다.

Table 1. Chemical composition of specimens

element	C	Si	Mn	P	S
wt%	0.5%	0.6%	0.8%	< 0.03%	< 0.04%

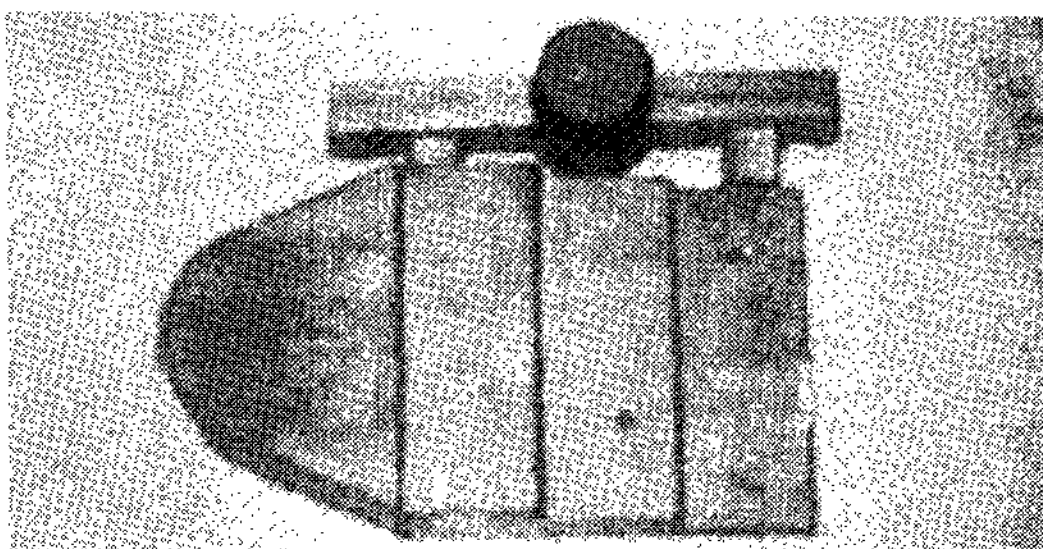


Photo 1. Figure of step-like pattern

주형의 온도측정은 동일지점의 내부 주형벽의 온도를, 열전대를 이용한 계수형 온도측정기로 측정하였으며, 용탕의 주입은 목표 온도에서 용탕을 재빨리 주입하였다.

그리고 탈탄이 산화성 분위기에서 발생한다는 점에 착안하여, 탈탄의 방지책으로서 다음과 같은 4가지 방법으로 주조하여, 각 주조조건이 탈탄에 미치는 영향을 조사 하였다.

- ① 주형재료에 흑연을 5% 첨가하는 방법
- ② 주입 직후 왁스를 주형위에 올려놓고 후드를 씌우는 방법
- ③ ①과 ②를 동시에 행하는 방법
- ④ 중성분위기인 Ar(순도 97%)분위기에 주형을 놓고 용탕을 주입하는 방법

④의 방법에서 Ar분위기는 Fig. 1의 진공장치로 공기를 뽑은 후(10<sup>-1</sup> torr이하) 밸브를 열어 Ar을 주입하였다. 진공용기 내에서의 산소의 양을 감소시키기 위하여 이 과정을 3번 반복한 후 주입하였다.

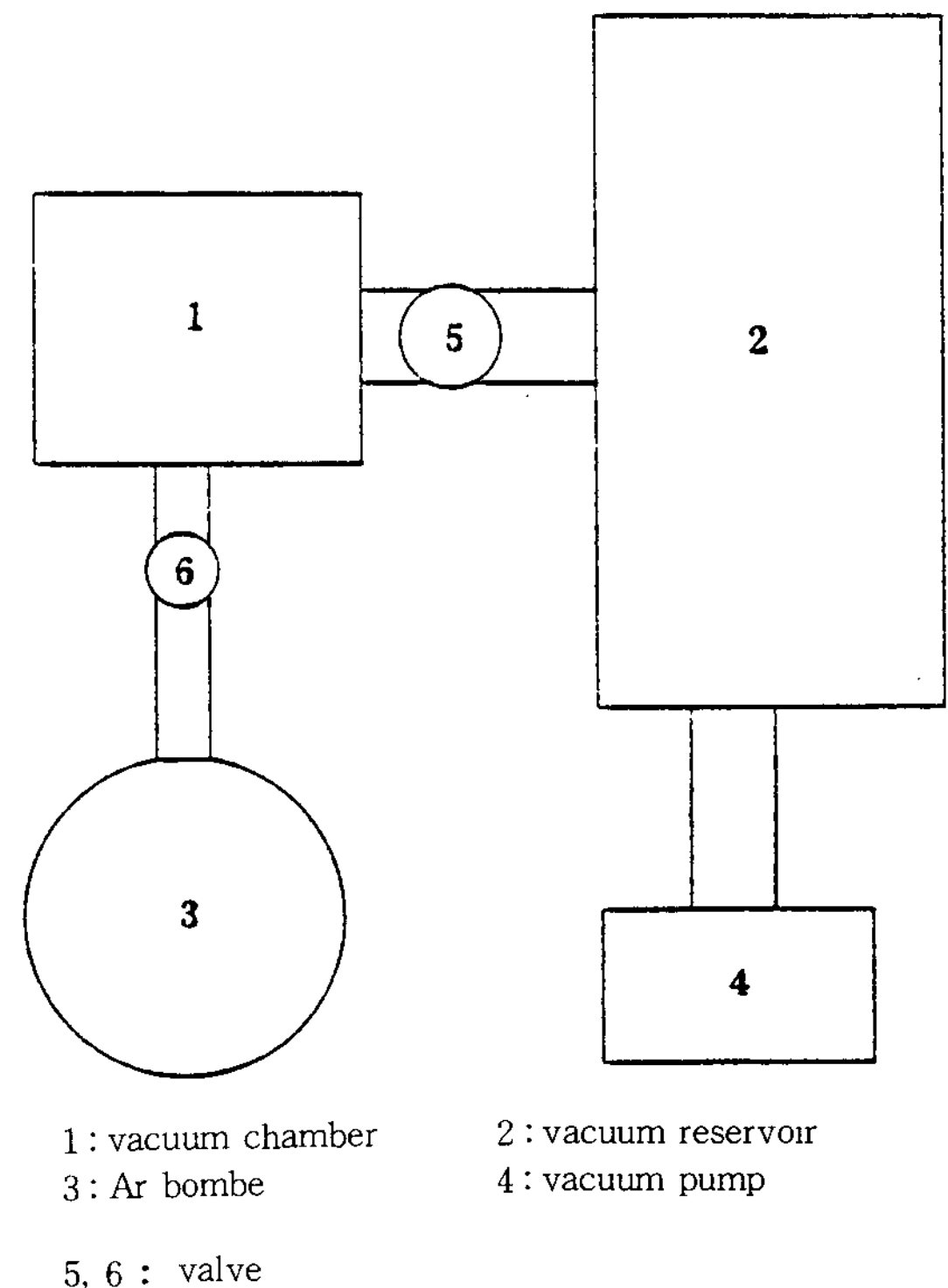


Fig. 1. The schematic diagram of vacuum system

2.3 현미경조직 및 탈탄층의 관찰

조직시편은 주조된 계단형상의 시편의 중앙부위를 잘라서 사용하였으며, 광학현미경으로 100배의 배율로 사진을 찍어 탈탄층을 조사하였다. 아 공정 중탄소강이기 때문에 기지조직은 페라이트와 펄라이트이며, 주조 후 조직은 Fig. 2과 같이 3가지 층으로 나타나는데, KS규격의 탈탄층 측정 방법중 DM-F에 따라 페라이트만 나타나는 부분만을 탈탄층으로 정하고 조사하였다. 조사한 탈탄층을 V/S, 주형온도, 분위기등의 변수에 따라 조사 비교하였다.

탈탄에 따른 경도의 변화를 조사하기 위하여 탈탄층, 회복층, 내부조직으로 나누어 Micro-Vickers 경도계로 200배의 배율과 200g의 하중으로 경도를 조사하였다.

경도를 구한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서와 같이 페라이트만 존재하는 탈탄층이 가장 낮았고, 그 다음으로 부분탈탄층, 탈탄이 되지 않은 내부조직 순으로 높게 나타났다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 탈탄층의 관찰

Photo 2의 (a), (b)는 탈탄방지 처리를 하지 않고 주형온도를 450°C, 600°C로 예열하여 주조하였을 때의 V/S에 따른 탈탄층의 변화를 나타낸 현미경 조직사진이다. 주형온도 600°C인 경우가 450°C인 경우에 비하여, 그리고 같은 온도라면 V/S값이 큰 경우가 탈탄깊이는 더 큰 것으로 나타났다.

그리고 Fig. 4는 V/S값에 따른 탈탄깊이의 변화를 나타낸 것이다. 이러한 결과로부터 V/S, 온도 및 탈탄깊이와의 관계를 구하였다. 먼저 V/S와의 관계식을 구하기 위하여, Fig. 4에서 탈탄층의 깊이가 V/S와 비례하여 나타나므로 다음과 같은 관계식을 세웠다.

$$y = a \times M + b \tag{1}$$

y : depth of decarburization layer

M : volume-to-surface area ratio(V/S)

a, b : coefficients

그리고 best fit 방법으로 각각의 주형온도에서의 a와 b를 구한 후, 이것은 주형온도의 함수로서 계산한 결과, 다음과 같은 관계식을 얻었다.

주형벽

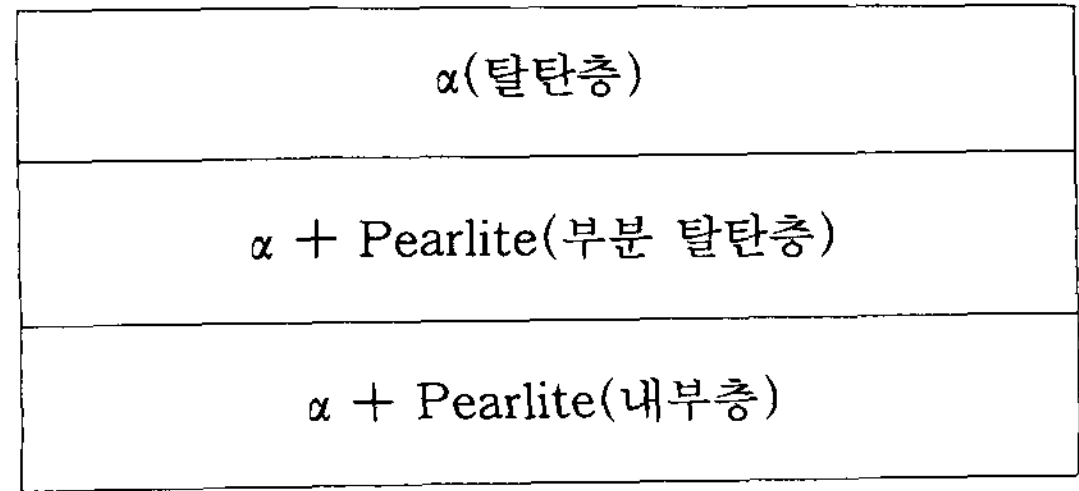


Fig. 2. The schematic diagram of decarburization layer

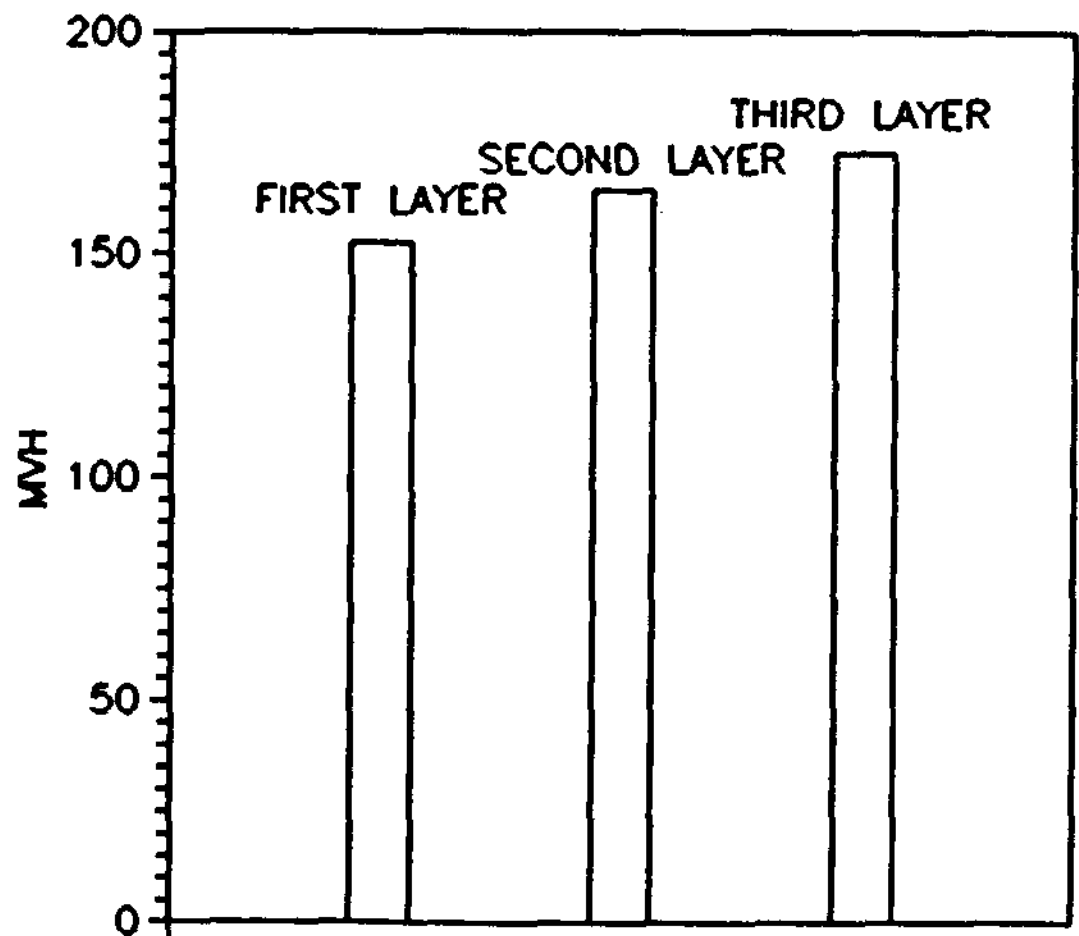


Fig. 3. Hardness of the decarburized layer (first layer), partially decarburized layer(second layer) and inner layer (third layer)

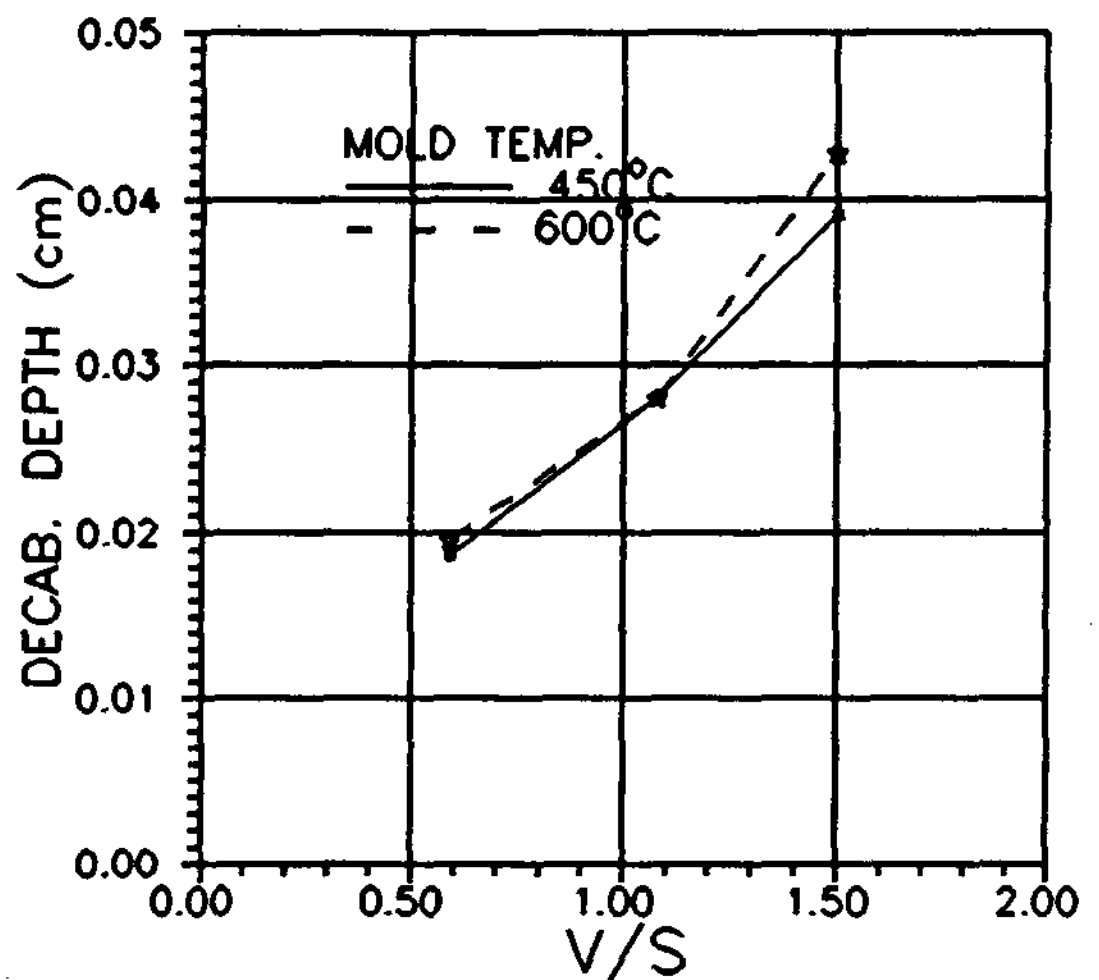


Fig. 4. Decarburized depth of SM50C

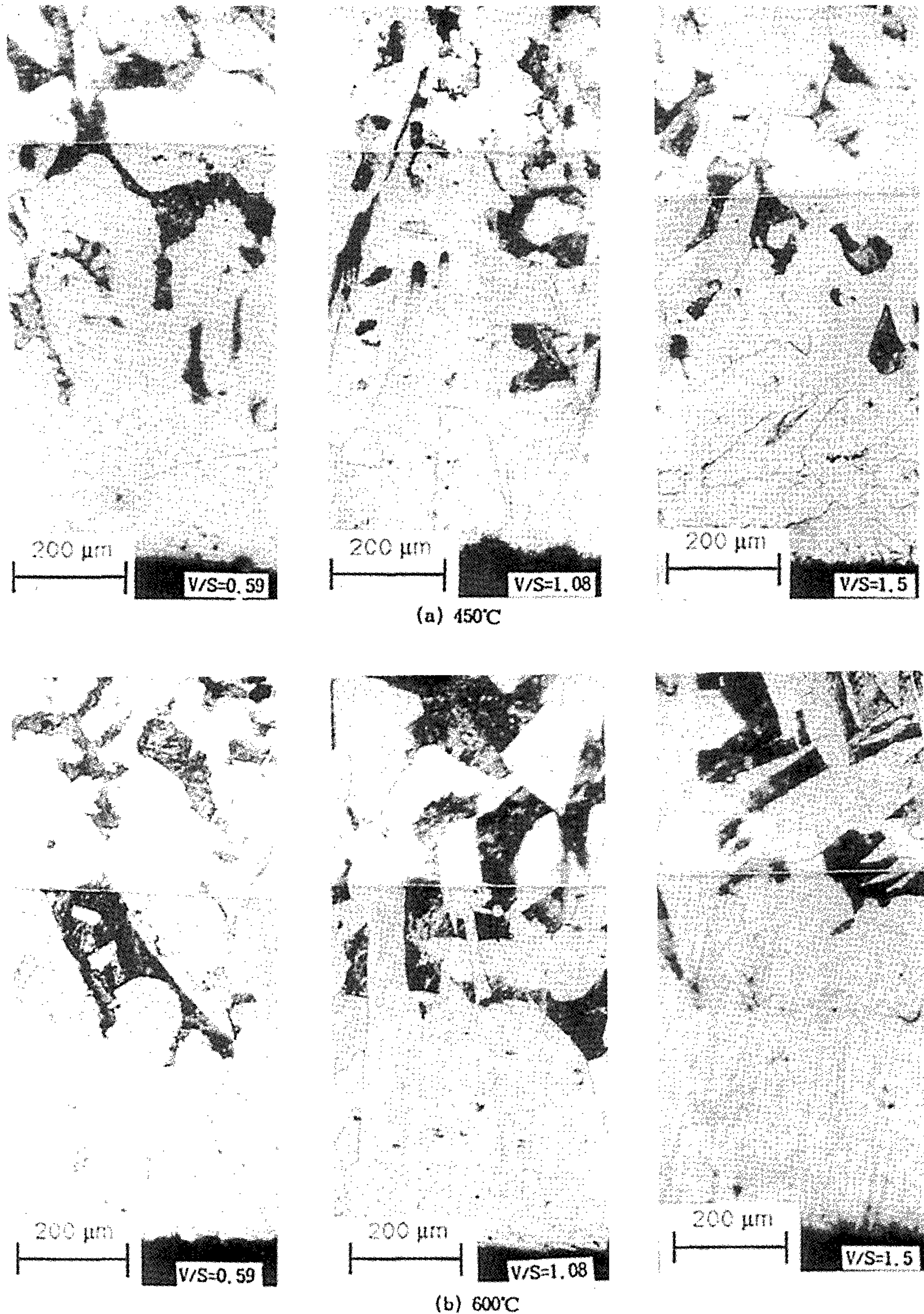


Photo 2. Microstructures of decarburized surface depending on the mold temperature(SM50C)



$$y(\text{cm}) = (1.96 \times 10^{-5}T + 0.0135) \times M - 1.05 \times 10^{-5}T + 9.73 \times 10^{-3} \quad (2)$$

T : mold temperature(°C)

### 3.2 V/ S가 탈탄에 미치는 영향

Photo 2와 식2에서 보는것과 같이, 같은 온도에서 V/S가 증가할수록 탈탄층은 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 Chvorinov<sup>(3)</sup> 식

$$t_f = K(V/S)^2 \quad (3)$$

$t_f$  : solidification time    K : constant

V : volume    S : surface area

에서 알수 있는 것처럼 V/S가 증가할수록 주물의 응고가 느려져 그 부위가 고온에서 오랫동안 노출된 결과에 의한 것으로 보인다. 즉, 탈탄반응은 표면에 존재하는 탄소가 산소와 반응하고, 여기서 발생하는 농도차이를 구동력으로 한 내부탄소의 확산과 확산되어 나온 탄소가 반응하는 과정으로 진행되는데, 고온이 될수록 산화반응은 쉽게 일어나기 때문에 탈탄은 산화반응보다는 확산에 의해 지배되는 과정이 된다. 아래 식(4)에서 D는 Q, T에 따라 지수적으로 변화하고, Q는 온도의 증가에 따라 감소하기 때문에 아래의 식(5)<sup>(4)</sup>에서 온도의 변화로 인한 탈탄정도의 차이는 고온일수록 더 큰 영향을 미치게 되는 것을 알 수 있다.

$$D = D_0 \exp(-Q/RT) \quad (4)$$

D : diffusion coefficient

Q : activation energy

$$C_x = C_0 \operatorname{erf}(x/2\sqrt{Dt}) \quad (5)$$

D : diffusion from the free surface

t : time

$C_0$  : initial concentration

$C_x$  : concentration at x

### 3.3 주형온도가 탈탄에 미치는 영향

Photo 2와 Fig. 4를 살펴보면, 주형의 온도를 600°C로 하였을 때가 450°C에서 보다 탈탄층의 깊이가 깊다는 것을 알 수 있다. 이는 주형온도가 높은 상태에서 용탕을 주입하였을 때 주물의 응고 시간이 지연되어 탈탄반응이 쉽게 그리고 오랫동안 일어나는 것으로 보인다. 만약 주형의 온도를 더욱 높여준다면 확산이 더욱 빠르게 진행되어 훨씬

깊은 탈탄층이 될 것으로 생각된다.

### 3.4 주형분위기가 탈탄에 미치는 영향

Photo 3은 2.2절의 4가지 조건에서 구조한 경우의 탈탄층의 현미경 조직사진으로서, 그 탈탄층 깊이와 V/S와의 관계는 Photo 5와 같았다.

왁스로 분위기를 조절하였을 때 Photo 3의 (a)와 Fig. 5에서 보인 바와 같이 탈탄의 일부는 방지할 수 있었으나, 완전하게 방지하는 것은 불가능하였다. 왁스를 이루고 있는 대부분의 유기물질은 고온에서 분해되어 환원 분위기를 만들어 내고, 이러한 환원 분위기가 탈탄을 방지하는 역할을 하는 것으로 보인다. 그러나 용탕이 주입되고 있는 동안에 탈탄의 반응이 진행되어 완전하게 탈탄을 방지하지 못하였을 것이고, 이 순간에는 용탕온도 1680°C, 주형온도 600°C인점을 고려하면 짧은 순간이라도 탈탄은 상당히 진행되었으리라 생각된다. 따라서 이 방법으로는 탈탄을 완전히 방지하는 것은 불가능할 것으로 보인다.

Ar으로 주형의 분위기를 조절하였을 때는, Photo 3의 (b)와 Fig. 5에서 보인 바와 같이 탈탄은 중지되지 않았는데 이는 주입을 위하여 진공 용기를 열었을 때 대기중의 산소와 접촉되었을 가능성과, 공업용 Ar을 사용하였기 때문에 불순물인 산소와의 반응으로 생각할 수 있다. 그러나

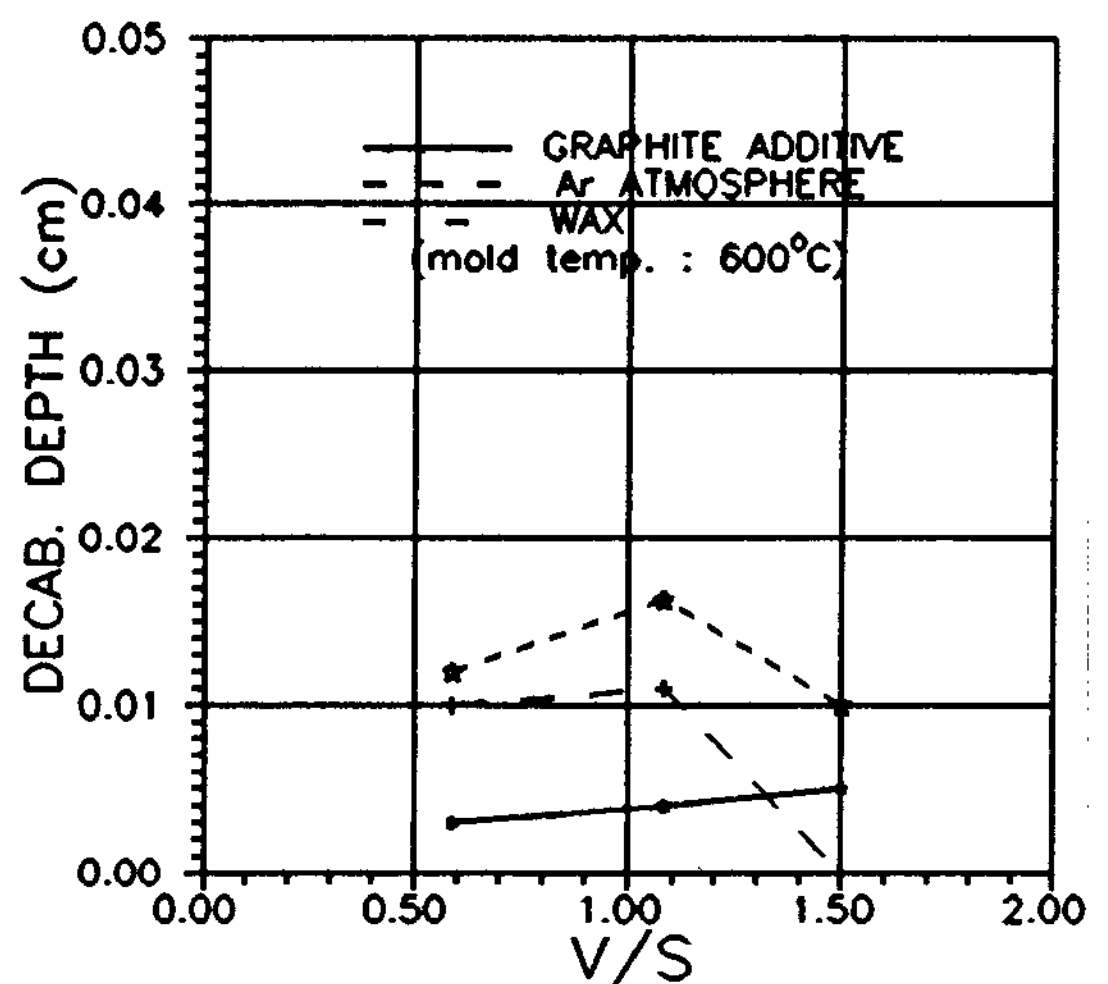
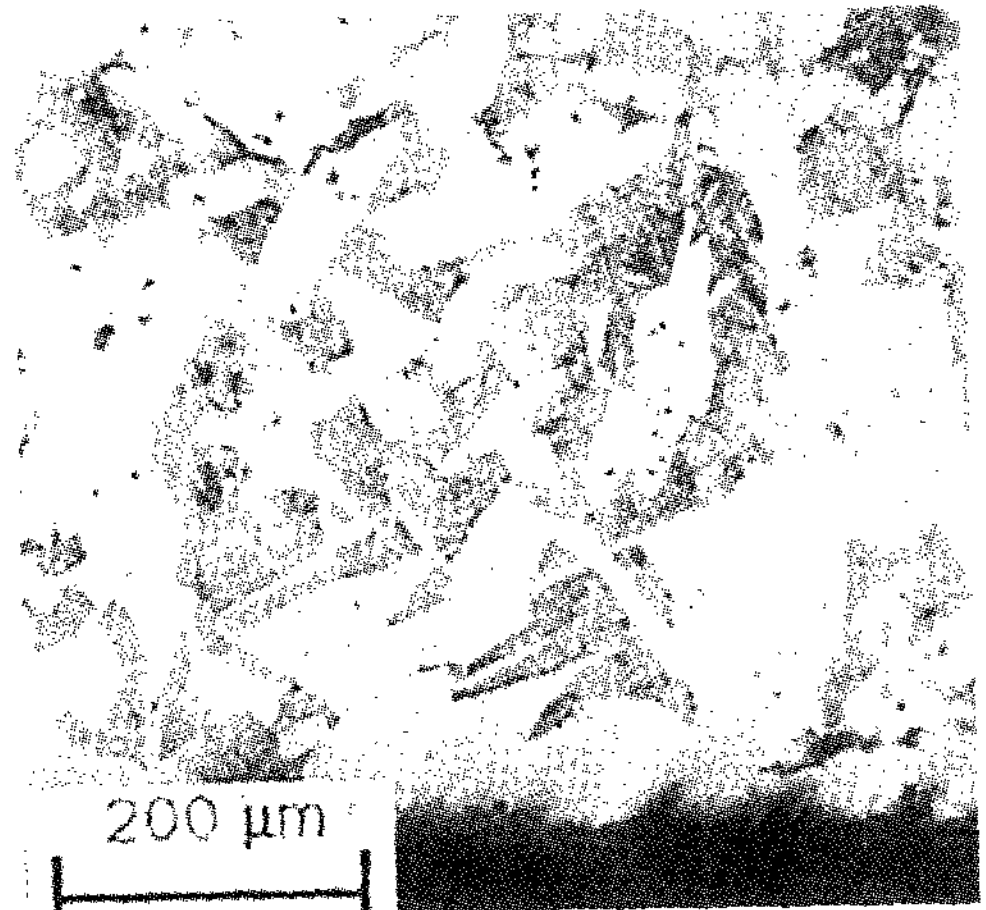


Fig. 5. Decarburized depth of SM50C according to mold atmosphere (mold temp. : 600°C)

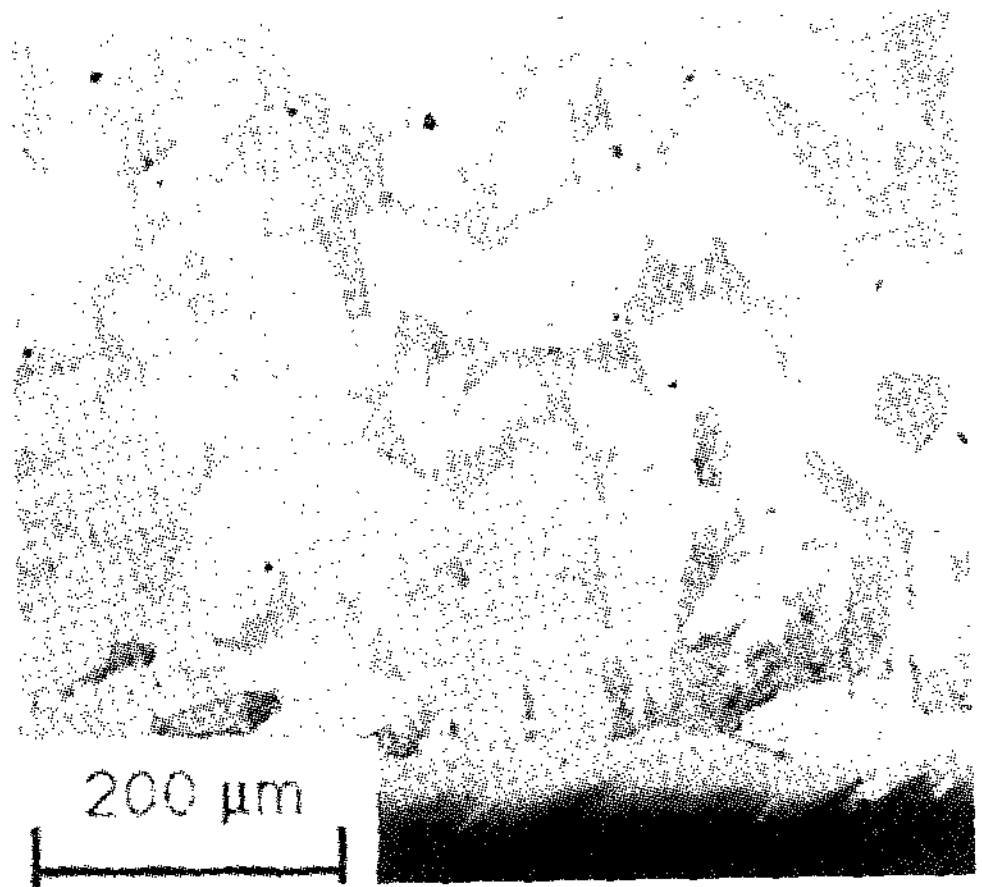
Fig. 4에서 보는 바와 같이 오히려 V/S는 가장 크지만 주형의 밑부분에 있는 부분은 탈탄이 거의 진행되지 않은 것으로 보아 용탕의 주입중에 들어간 산소에 의한 반응이 지배적이라고 생각되어진다. 이 공정은 매우 민감하고 공정이 복잡하여 실제 공정에서의 응용은 매우 어려울 것으로 생각된다.

흑연을 첨가한 경우는 Photo 3의 (c)와 Fig. 5에서 보인 바와 같이 탈탄층의 깊이가 현저히 감소하였으며, 이는 소성과정에서 산화되지 않은 흑연이 산소와 반응하여, 산소가 주물표면에서 탈탄 반응을 일으키는 것을 방지하기 때문으로 생각된다. 처음에 주형공간에 남아있던 산소나, 일부 통과하는 산소에 의한 반응은 방지할 수 없었으나, 소성동안 모두 타버리지 않으면서 소성후 산소와 잘 반응할 수 있는 정도로 입도를 조정하여 사용하면 탈탄방지에 응용될 가능성은 매우 크다고 생각된다.

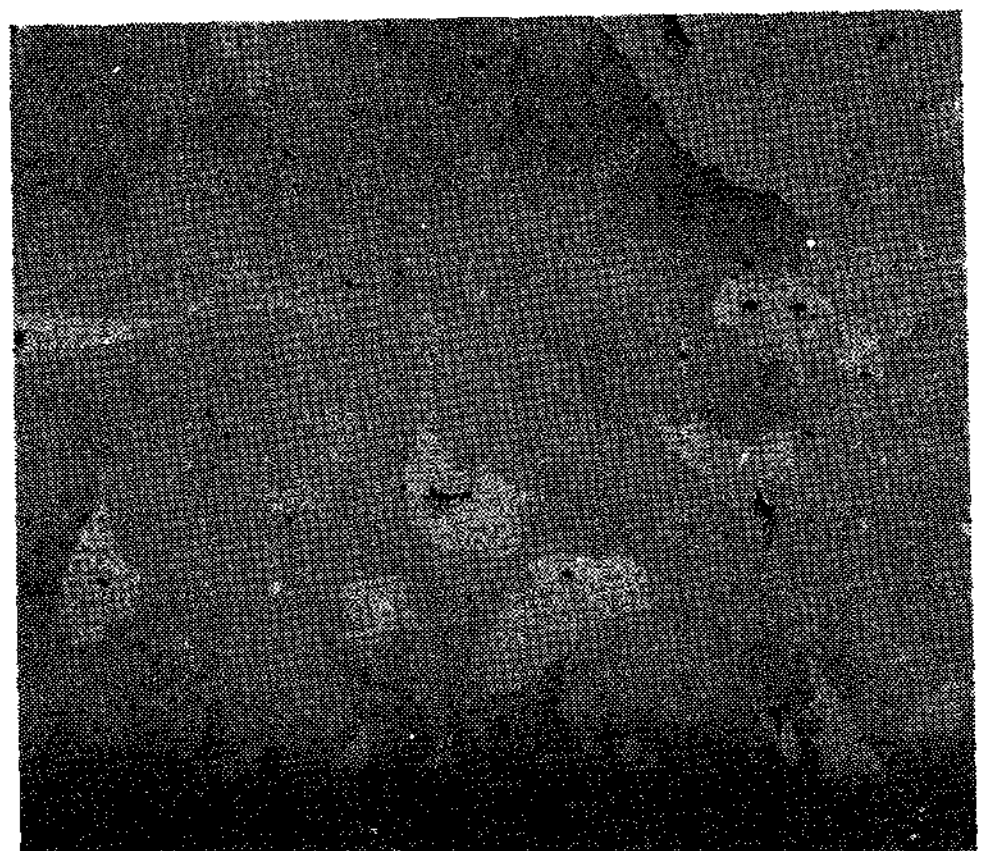
왁스를 주입한 직후 주형위에 올려놓고 후드를 씌우는 방법과 흑연을 첨가하는 방법을 동시에 행하였을 때, 왁스와 흑연을 각각 첨가하였을 때의 문제점들을 보완할 수 있었다. Photo 3의 (d)를 살펴보면 내부조직과 비교하여 표면에서의 약간의 페라이트의 증가를 제외하고는, 페라이트만 나타나는 탈탄은 일어나지 않았다는 것을 알 수 있었다. 그 이유는 용탕이 주입되는 순간의 탈탄은 주형에 존재하는 흑연과의 반응에 의해 대기에서 공급되는 산소가 소모되어 방지되며, 그 이후 왁스가 가해졌을 때는 유기물이 타서 생기는 환원성



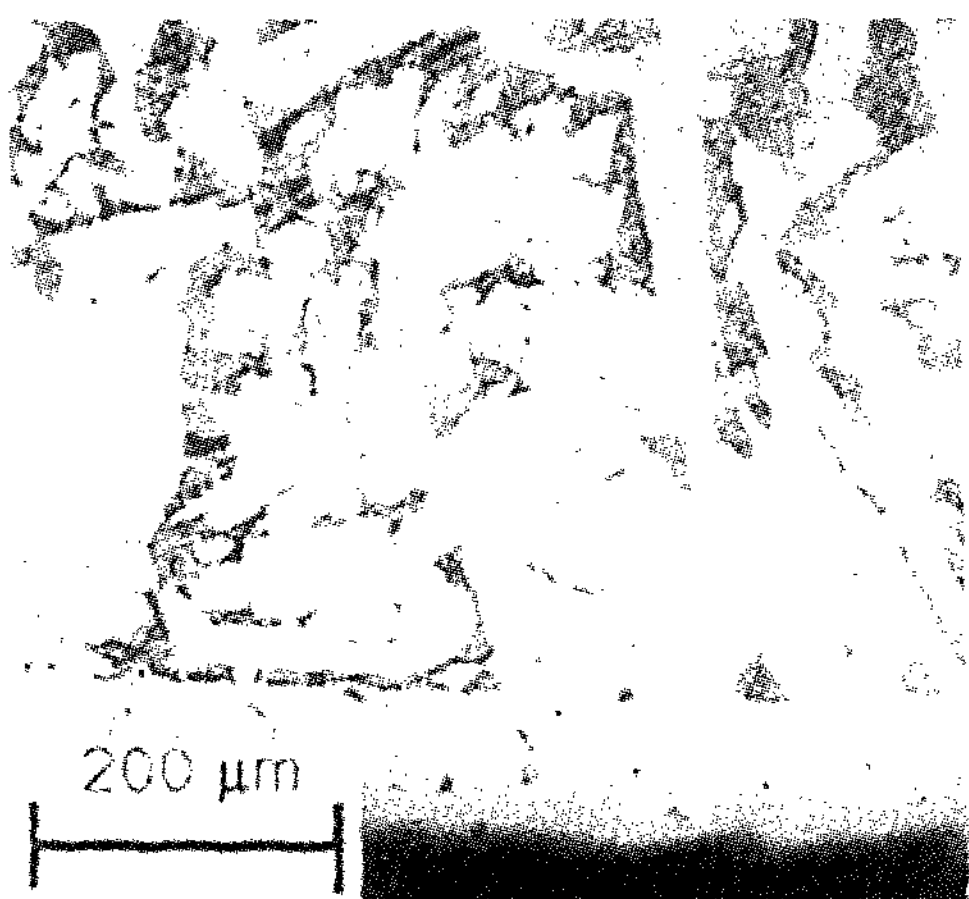
(b) Ar gas



(c) Graphite additive



(d) Wax + Graphite additive



(a) Wax

Photo 3. Microstructures of decarburized surface under protective atmosphere at 600°C

분위기에 의해 산소를 제거하여 탈탄을 방지하는 것으로 생각된다. 이 공정은 매우 간단하고 효과가 거의 완벽하여 실제 작업에 응용할 수 있는 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

세라믹 주형법을 사용한 강재의 탈탄현상과 그 방지책을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탈탄이 일어난 부위와 일어나지 않은 부위의 정도치를 조사한 결과 탈탄된 부위의 정도치는 낮게 나타났다.
- 2) 주물의 V/S와 주형의 온도가 증가함에 따라 탈탄층의 깊이는 증가하는 것으로 나타났다. 그 관계식은 다음과 같다.  

$$y(\text{cm}) = (1.96 \times 10^{-5}T + 0.0135) \times M - 1.05 \times 10^{-5}T + 9.73 \times 10^{-3}$$
- 3) Ar 분위기에서 용탕을 주입하고 유지한 경우와 왁스를 주형위에 올려놓고 후두를 씌운 경우는 모두 탈탄층의 깊이가 감소하였

다. 주형의 첨가제로 흑연을 첨가하였을 경우와 왁스와 흑연을 동시에 사용한 경우에는 탈탄층을 거의 관찰 할수 없었으며, 이 공정은 실제 공정에 응용가능한 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- 1. G. E. Doremus & C. R. Loper : "A Study of Decarburization Accompanying the Casting of Steel in Cermic Models", AFS Trans., Vol.28 (1970), p.338
- 2. 加藤英承 : "鑄造による金型の製作", JACT NEWS, 1982, P.5809
- 3. Flemings : "Solidification Processing", (1974), p.11
- 4. Donald R. Askeland : "The Science and Englineering of Materials", Alternate Edition, (1985), PWS Engineering, Boston, Massachusetts, p.87