

논문

소실모형 주조법에서 도형제가 오스테나이트 스테인레스강 주물의 표면층조직에 미치는 영향

김지윤*, 조남돈**

Effect of Coating Materials on Surface Layer Structures of Austenitic Stainless Steel Castings in Evaporative Pattern Process

Ji-Youn Kim* and Nam-Don Cho**

Abstract

Austenitic stainless steel castings using expandable polystyrene(referred to hereafter as EPS) patterns are often affected by distinctive defects associated with incomplete decomposition of the EPS as the molds are filled with metal.

The quality of the castings,with particular reference to carbon pick-up in austenitic stainless steel is further influenced to a significant extent by such factors as reduced pressure, the additive by adding Na2CO3 in coating.

The steel composition and microstructure were examined at the surface layer of castings, at depths of 1mm ,by taking successive layers of swarf and analysis.

In experiments, the carburizing atmosphere was neutralized, showing that the coating performed efficiently by decomposing almost instantly on heating and liberating CO2.

The upper parts of castings obtained using EPS patterns were slightly higher in carbon pick-up than other parts.

Comparing the 316L and 304 stainless steel castings, qualitative and quantative differences could be found between the carbon pick-up behaviours as influence of the carbon content and alloying elements.

Carbide former such as Cr makes carbon more soluble in the steel.

This must make carbon pick-up in the surface layer but at the same time richer in carbon especially in the 304 stainless steel castings.

1. 서론

소실모형 주조법은 코어를 사용하지 않는 조형법으로 주조공정에 있어 대폭적으로 공수절감 및 합리화를 기대할수 있고 치수정확도의 향상 등 품질면에서도 이점이 있어 최근에 크게 주목을

받고 있는 주조법이다.[1~4]

이 주조법은 기본적으로 주물과 동일한 형태의 발포 폴리스티렌(expanded polystyrene : 이하 "EPS"라 한다)으로 제작한 모형을 비점결사중에 매몰한 상태에서 용탕을 주입하여 열에 의하여 EPS모형이 연소 및 기화되면서 주물을 제조

*한국가스안전공사(Korea Gas Safty Corporation)

**국민대학교 공과대학 금속재료공학과(Dept. of Metal.Mat. Eng. Kookmin University)

하는 방법[5~6]이다. 그 동안 기술적인 측면과 경제적인 장점이 많은 문헌[7~21]에 보고되고 있다.

그러나 소실모형 주조법으로 제조된 주강주물은 주형에 용탕이 채워질때 EPS의 불완전한 분해와 관계가 있는 주조 결함이 발생한다.

즉, 주입과 응고하는 동안에 주형공격부 내의 분해 생성물은 주물내에 특이한 결함을 일으킨다. 즉 기계가공을 곤란하게 하는 주물표면층내의 침탄층의 발생이 소실모형 주조법에서 가장 심각한 문제[22~28]이다.

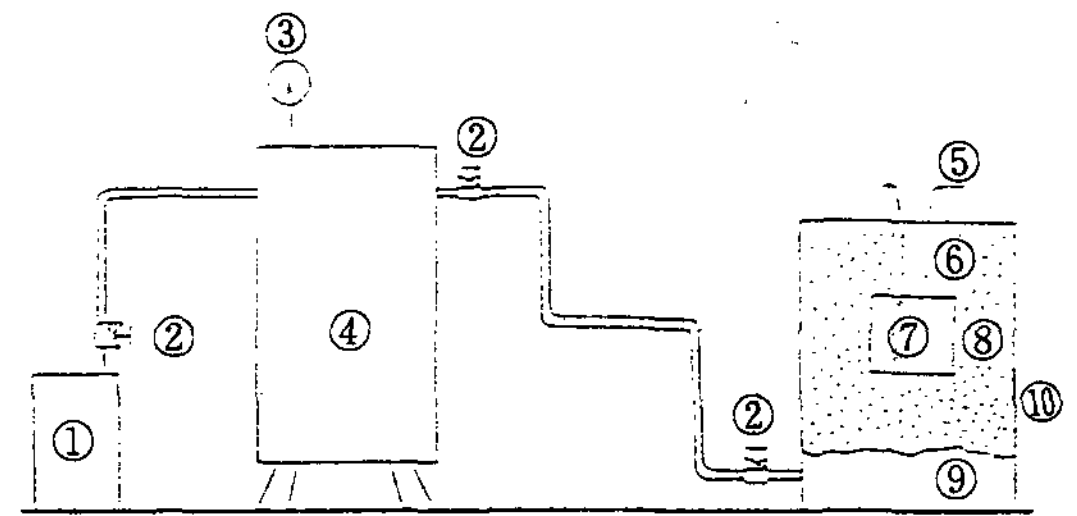
강에서 열처리에 관한 침탄조건에 대해서는 여러 문헌[29~36]에서 발표한바 있으나, 오스테나이트 스테인레스강의 소실모형 주조법에 의한 침탄 거동에 대해서는 현재까지 연구된 보고가 거의 없다. 특히 오스테나이트 스테인레스강과 같은 저탄소강에서는 소실모형 주조법을 적용하기 어렵다. 본 연구에서는 비점결사 주형에 EPS모형을 매몰한 후 오스테나이트 스테인레스강(STS 304, 및 STS 316L)주물을 주입할때 감압도 및 도형제에 Na₂CO₃의 첨가량을 변화시켜 오스테나이트 스테인레스 주물의 표면층조직에 미치는 영향을 조사하여, 침탄억제 효과의 타당성을 검토하였다.

2. 실험방법

모형제작은 시중에 판매되고 있는 판상 폴리스티렌(겉보기 밀도 : 20kg/m³)을 정육면체(100×100×100mm)로 정확히 전열을 이용한 hot wire cutter에 의하여 절단 가공하여 표면이 매끄럽게 되도록 제작하여 사용하였다.

탕구는 주입시 붕괴되는 경우가 발생하여 내경 35mm인 알루미늄 내화물관으로 높이를 150mm로 하여 상부에 설치했고, 모형의 표면은 질콘분(270~325mesh)과 알콜을 유리봉을 사용하여 5분간 잘 혼합한 다음 Na₂CO₃분말을 0, 0.2, 0.5, 1wt%로 하여 유리봉을 저어서 10분간 혼련한 다음 도형제 붕괴를 방지하기 위해 소량의 접착제를 첨가하여 모형의 표면에 1mm의 두께로 피복시키고, 건조기 내에서 50℃~60℃사이에서 약 10시간 동안 건조시켰다.

본 연구에 사용된 시편제작 장치는 Fig. 1에



- ① Oil Sealed Rotary Vacuum Pump
- ② Control Valve
- ③ Vacuum gauge
- ④ Vacuum Tank
- ⑤ Pouring Basin
- ⑥ Sprue
- ⑦ EPS Pattern
- ⑧ Unbonded Sand
- ⑨ Stainless Steel Screen(100mesh)
- ⑩ Mold Box

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental set-up used.

나타내었다. 주형상자는 두께 3mm인 강판으로 바닥만 밀폐된 원통형(내경 및 높이 : 500mm)으로 제작하였다.

주형상자 중간 부분은 수평으로 구멍을 뚫어 강판으로 막고 그 위에 #270 스테인레스 망을 붙이고 밑에 주형상자의 측면 하부에 20mm의 구멍을 통하여 진공상자와 연결시키고, 이 진공상자는 진공펌프(rotary vacuum pump)의 흡입구와 연결되게 하였다. 진공상자위에 감압계측기(Bourdon's tube pressure gauge)로 감압정도를 확인할수 있게 하였다.

주형상자에 규사와 모형 및 탕구를 놓고 가벼운 진동을 주어 규사를 다지면서 고정시켰다. 용해는 고주파 유도로에 의하여 전해철, 선철, 규소철, 기타 합금철 및 가탄제등을 장입하여 Table. 1과 같은 성분의 용탕을 얻었다.

주형의 상면은 플라스틱 필름(두께 : 50μm)으로 완전히 밀폐시키고, 석면판으로 주입컵 부분을 제외한 나머지 부분을 덮고, 진공펌프를 이용하여 감압시켜 주입직전 진공상자의 감압도를 각각 -27kPa, -40kPa, -53kPa로 감압시켰다.

탕구내 용탕의 깊이를 일정하게 유지시키기 위하여 주입컵(CO₂형으로 제작하였음)에 spout를 설치하여 넘칠정도로 연속적으로 신속하게 주입

Table 1. Chemical composition of molten stainless steel used(wt%).

Alloy	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
STS 304	0.075	0.03	0.045	0.6	1.45	19.12	10.44	-	bal.
STS 316L	0.02	0.023	0.032	0.77	0.70	18.88	9.19	2.22	bal.

하였다. 응고후 주물의 종단면을 절단한 후 상부면 및 측면으로 부터 내부로 향한 표면층 조직의 변화를 관찰하기 위하여 좌우측에서 1cm두께로 절단하여 시편을 제작하여 조사 하였다.

본 실험에서는 탄소확산으로 인한 침탄층을 측정하기 위해 마이크로 비이커스 경도기를 이용하여 침탄깊이를 측정하였고, 동시에 금속현미경으로 확인하였다.

강의 입계탄화물을 TEM(Jem-1210)으로 확인하였고, 표면에서 1mm두께로 절삭하여 탄소량을 측정하였다.

금속현미경에 나타나는 침탄층 깊이를 상분석기(Image analyzer, Leica)를 사용하여 정확히 측정하였다. 다음의 Fig. 2는 실험의 과정을 도식화하여 나타낸것이다.

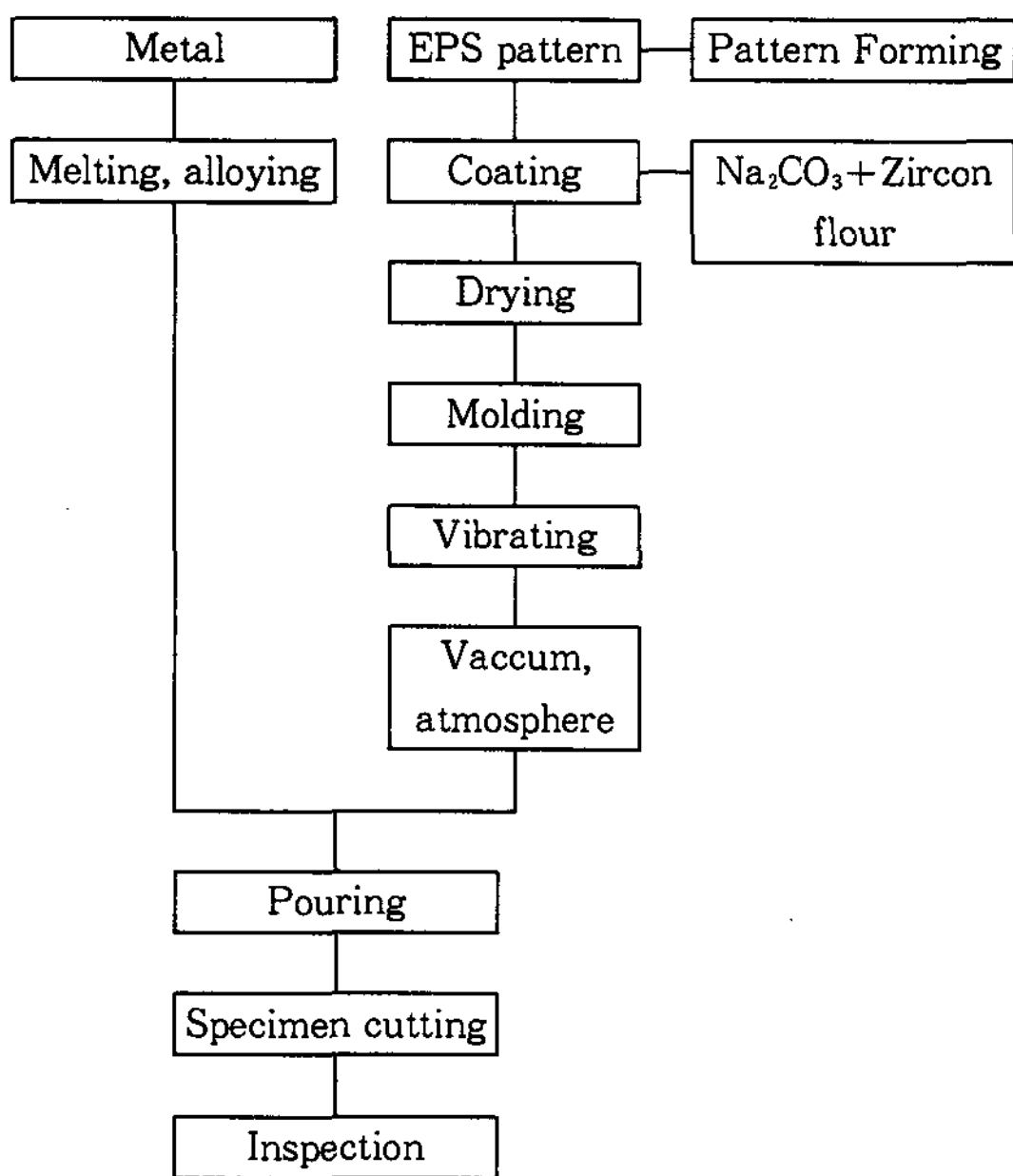


Fig. 2. Flow chart of experimental procedure.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Na₂CO₃의 첨가에 따른 침탄거동

일반적으로 침탄은 강의 FCC구조인 오스테나

이트 조직에서 EPS가 용탕과 접촉하여 연소하여 발생하는 carbon black 및 CO가스등에 의해 침탄이 일어난다.

오스테나이트 조직인 STS 304인 경우 EPS 분해가스에 의한 침탄을 확인하고자 표면층의 조직을 Photo 1에 나타내었다.

Photo 1의 (a)~(d)는 도형제내에 Na₂CO₃(0, 0.2, 0.5, 1wt%)의 첨가량을 변화시켰을때 상부 표면조직이고, (e)는 도형제내에 Na₂CO₃를 0.2wt%첨가했을때 측면부에서 나타난 조직이다.

표면에서 부터 내부로 침탄이 이루어진것이 확인되며, (a)에서 가장 많은 침탄이 이루어진것을 확인할수 있고, (b),(c)순으로 침탄량이 적어졌다. (d)는 침탄이 거의 발생하지 않은것을 볼수 있다. 이경우에 침탄억제 효과가 가장 큰것으로 나타났다. Na₂CO₃의 첨가량이 같은 주물의 상부 표면과 측면부 표면 (b)와 (e)를 비교한바 (b)에서 침탄이 보다 깊게 나타나는데, 이는 주물의 상부가 침탄이 많이 일어나는 것을 알수 있었다. 상부 표면층보다 측면이나 하부 표면층의 침탄량이 낮은 이유는 Stepanov의 연구[37]에 의해 용탕이 주형내를 완전히 채우기전에 고체 표면층이 형성되어 탄소가 고체금속에 대한 확산계수가 용탕금속에 대한 확산계수보다 상당히 작기 때문에 이 표면층은 모형위에 용탕이 들어오는 모형재로부터 침탄이 적게 된다는 보고와도 일치한다.

더우기 carbon black등이 용탕과의 비중차이로 용탕의 상부쪽에서 부유하는 것도 한 원인으로 생각된다. (d)에서는 침탄이 일어나지 않았는데, EPS연소시 carbon black등이 강과 반응하여 침탄이 일어나기 전에 먼저 Na₂CO₃와 반응하여 환원성분위기를 만들어 CO₂가스를 생성하고, 또 일부는 주형을 통하여 외부로 배출되기 때문에 침탄분위기를 형성하지 못하였기 때문이라 생각된다.

또 오스테나이트 조직의 STS 316L을 같은 조건으로 주입 했을때 결과를 Photo 2에 나타내었다. 이경우에서도 STS 304와 마찬가지로 (a)에

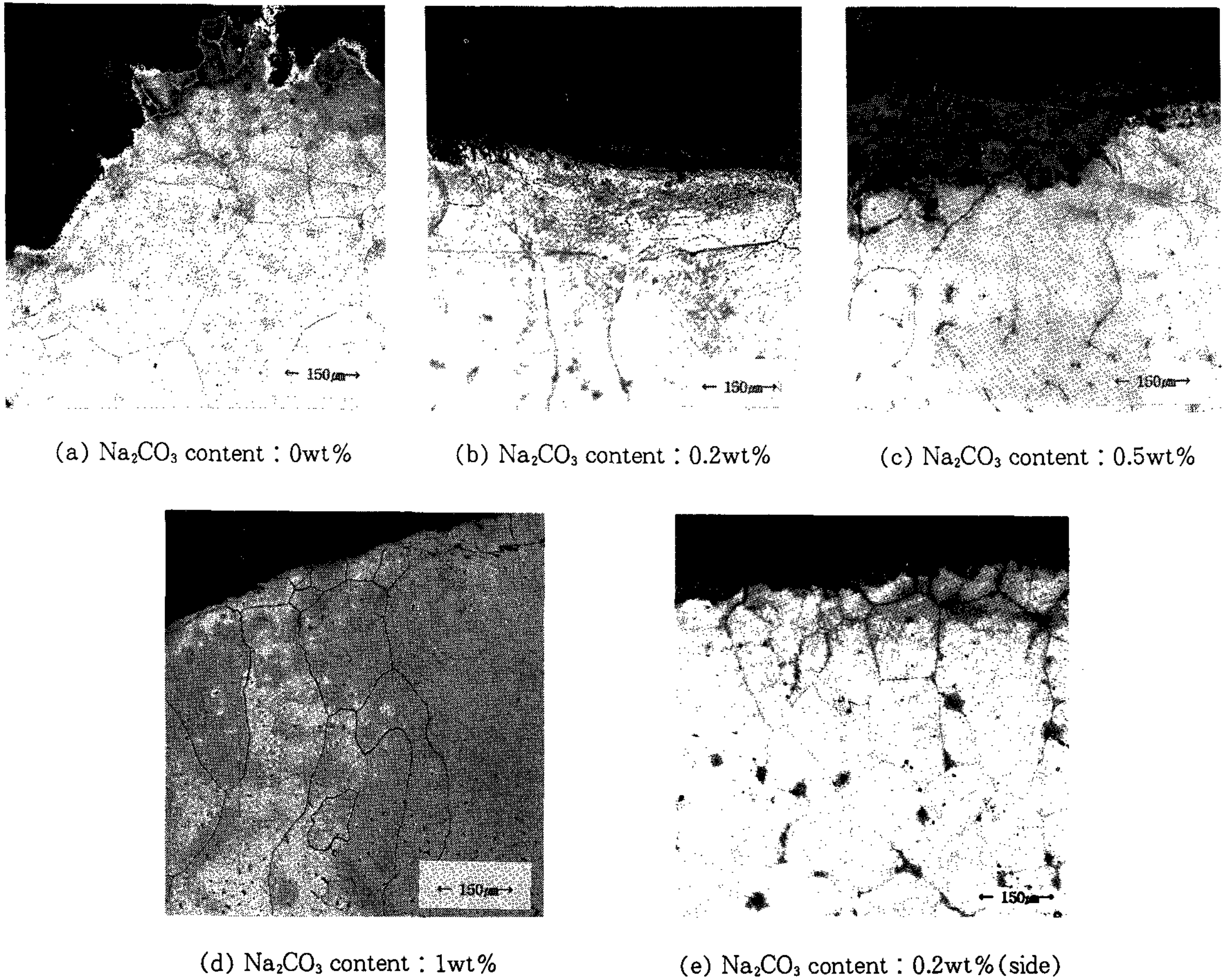


Photo 1. Structure of the carburized 304 stainless steel alloys.

서 가장 많은 침탄이 이루어졌고 (d)에서는 침탄이 거의 이루어지지 않은것을 볼수있었다. Photo 1과 Photo 2에서 (d)를 관찰해 보면 공통적으로 검은 흑점이 더욱 많이 산재해 있는것을 볼수있다. 이것은 도형제내에 첨가한 Na_2CO_3 와 EPS가 반응할때 CO_2 가스를 다량으로 발생시켜서 응고된 강의 표면층내에서 잔류하기 때문에 기공이 다량으로 발생된것으로 생각된다.

Photo 1과 Photo 2에서는 공통적으로 도형제에 Na_2CO_3 의 첨가량을 증가시킬수록 침탄층이 얇게 나타났다. Na_2CO_3 의 첨가량을 증가시킬수록 두 종류의 강 모두 CO_2 의 양이 증가하기 때문에 침탄량이 적게 나타난것이 원인으로 생각된다.

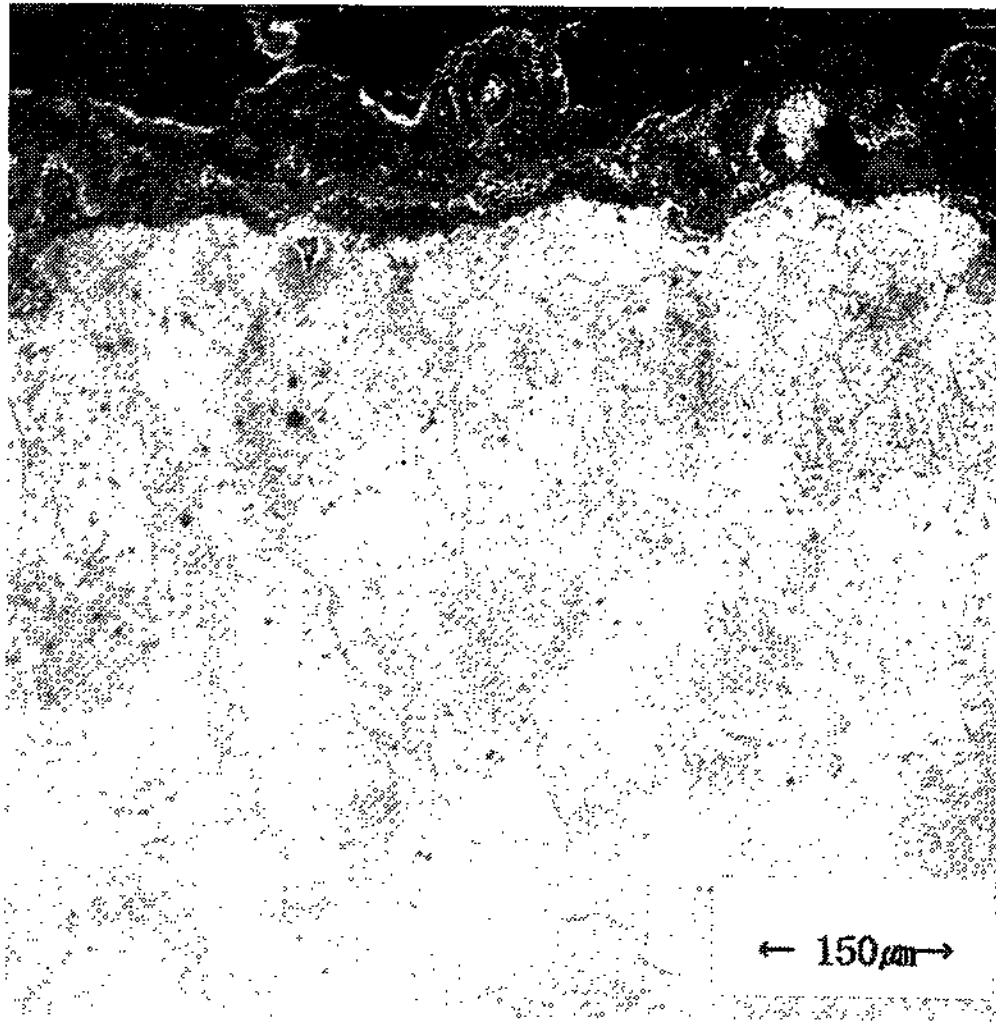
이와같은 침탄에 중요한 영향을 미치는 요인을

확인하기 위하여 도형제에 Na_2CO_3 의 첨가량을 변화시켰을때 발생하는 CO 및 CO_2 가스의 성분은 가스크로마토그래피(Shimadzu, GC-PA)로 분석하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다.

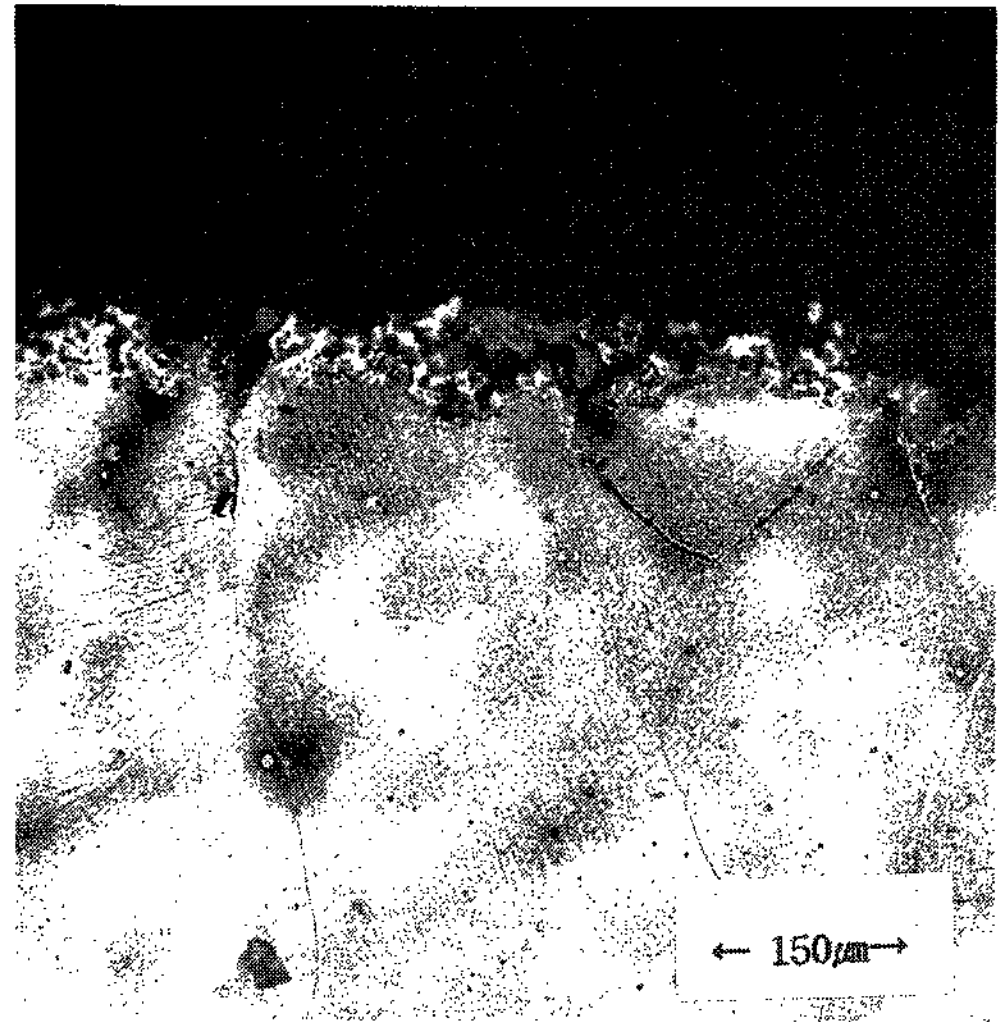
EPS의 연소시 발생하는 CO 및 CO_2 , 그리고 carbon black 등은 도형제의 코팅에 의해 발생량의 차이를 보였다. Na_2CO_3 의 양이 증가할수록 CO_2 양은 증가하고 CO량은 반대로 감소하는 현상이 나타났다.

즉 EPS와 Na_2CO_3 의 용탕주입시 고온 연소에 의해 발생하는 반응가스는 Table 2에서와 같이 CO_2 가스를 다량 발생시켜 침탄억제 분위기를 조성하는 것으로 판단된다.

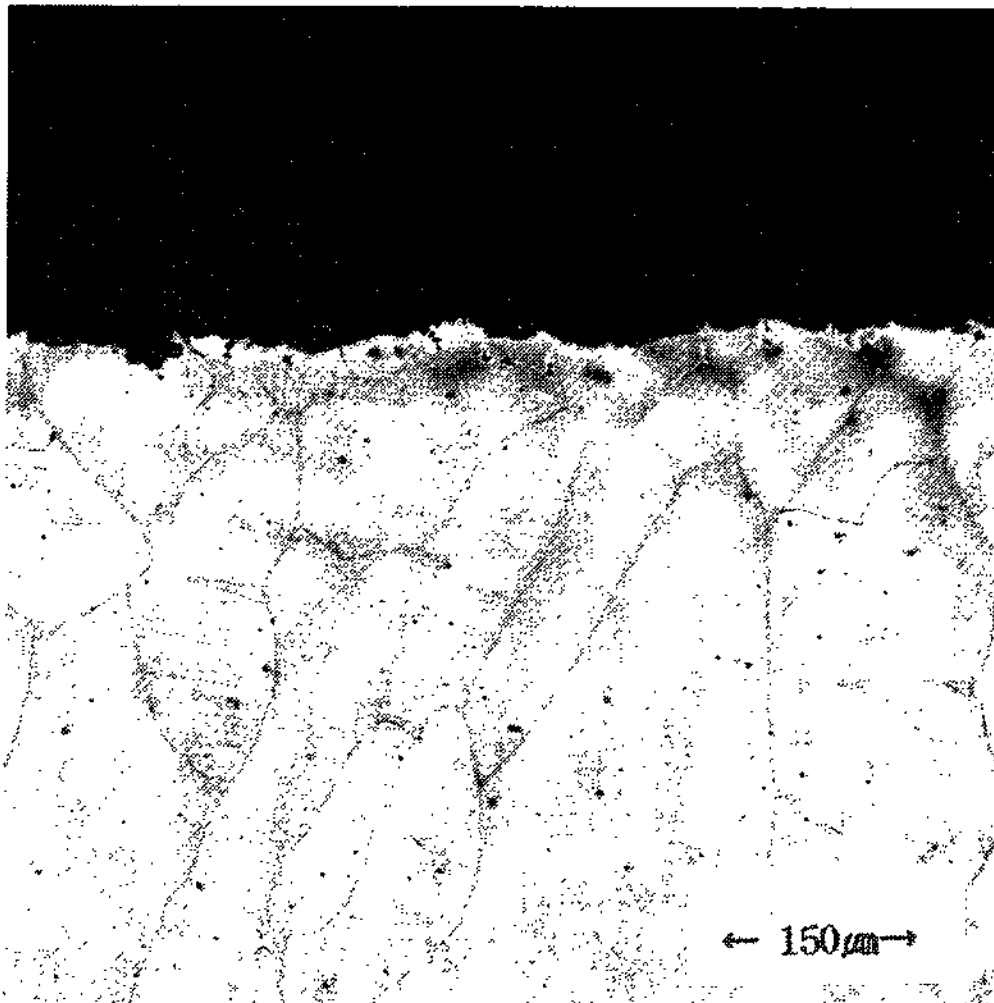
CO의 감소원인은 용융된 Na_2CO_3 가 환원성 분위기 하에서 CO가스와 반응하여 아래와 같이 분



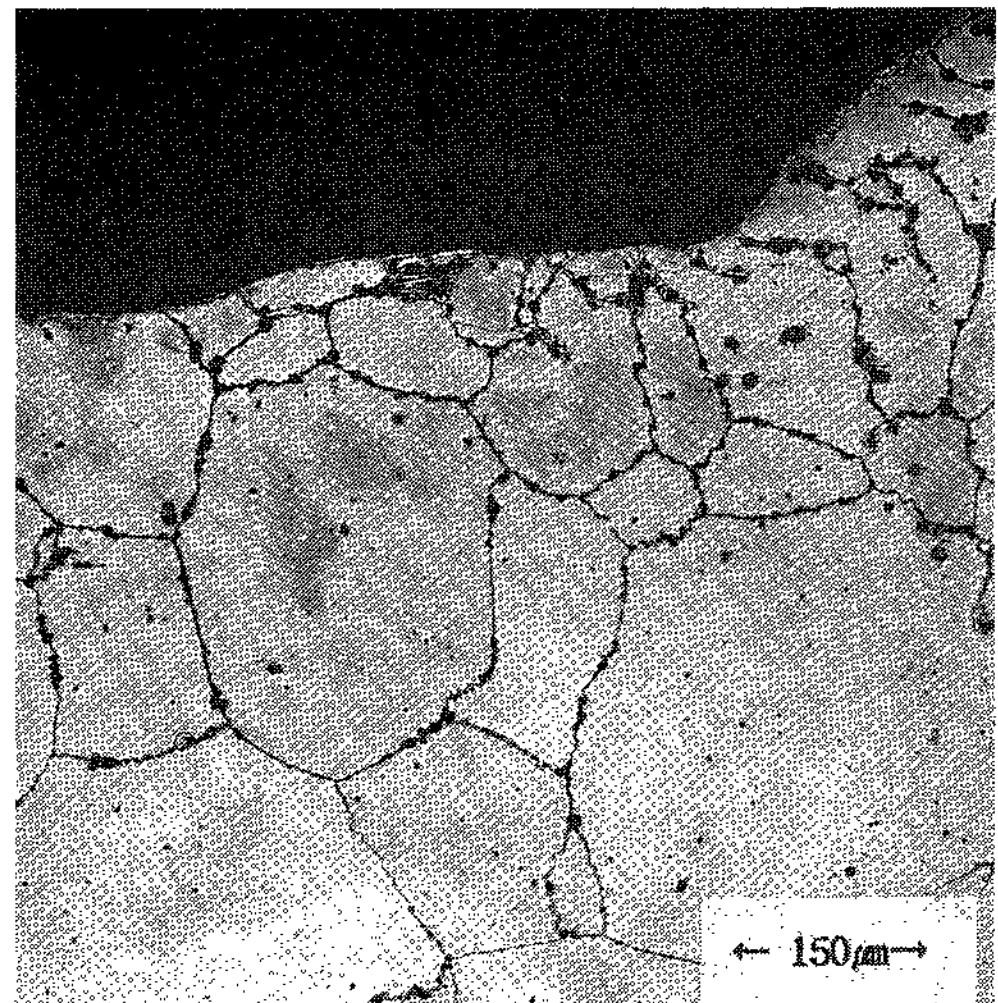
(a) Na₂CO₃ content : 0wt%



(b) Na₂CO₃ content : 0.2wt%



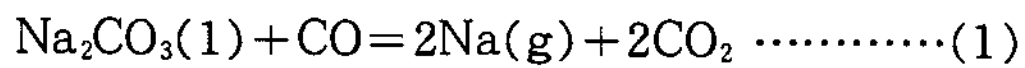
(c) Na₂CO₃ content : 0.5wt%



(d) Na₂CO₃ content : 1wt%

Photo 2. Structure of the carburized 316L stainless steel alloys.

해되는 것이기 때문인것으로 생각된다[38].



여기서 발생한 CO₂가 석출탄소를 억제시키는 효과가 있는 것으로 예측되었다. 한편 EPS의 분해시 발생한 가스로 부터 침탄에 영향을 미치는 작용을 하는 carbon black등의 생성에 가장 중요한 반응식은 다음과 같다.



Table 2. Chromatographic data on the gases.

Condition	Gas analysis(vol.%)	
	CO	CO ₂
Na ₂ CO ₃ content 0wt%	35.2	13.2
Na ₂ CO ₃ content 0.2wt%	28.3	18.4
Na ₂ CO ₃ content 0.5wt%	22.3	20.1
Na ₂ CO ₃ content 1wt%	18.7	24.5

왼쪽으로 진행할때 생성된 탄소는 용융상태에서 이미 강과 반응이 시작된다. 스테인레스 강과 같은 저 탄소강인 경우 Fe로 확산하여 들어가게 된다. 평형상태에서는 CO₂/CO의 비가 어떤 일정한 탄소potential을 갖거나 γ-Fe내의 어떤 일정한 수준의 탄소를 유지시킨다. 위의 온도에서 기체조성과 γ-Fe의 탄소사이의 관계는 위의 반응식에 대해서 평형상수 K에 의하여 나타낼수 있다.

$$K = P_{(CO_2)}^2 / a_c P_{CO} \dots\dots\dots(3)$$

단 P_{CO}와 P_{CO₂}는 각각 CO와 CO₂의 분압이고 a_c는 탄소 활동도이다. 탄소의 활동도가 탄소의 활동계수(f_c)에 의하여 γ-Fe내의 탄소중량 백분율과 관계가 있다.

$$a_c = f_c \text{wt.\%C} \dots\dots\dots(4)$$

K는 온도의 함수이고 다음과 같다.

$$\log K = (-8918/T) + 9.1148$$

단, T는 절대온도이다.

주어진 표면 γ-Fe의 탄소함량을 유지하는데 필요한 CO 및 CO₂분압은 (3)과 (4)식을 조합하면 다음과 같다.

$$\text{wt.\%C} = (1/K f_c) P_{(CO)}^2 / P_{CO_2} \dots\dots\dots(5)$$

만약 분위기 중의 CO분압이 평형상태의탄소함량을 유지하는데 필요한 분압을 초과한다면 (2)식에서 반응이 역으로 진행되고 침탄은 새로운 평형이 도달할때까지 일어날것이다. 그 반면에 만약 CO₂분압이 CO분압보다 높아서 평형을 초과한다면 그 반응은 오른쪽으로 진행하여, 탈탄이 일어나게 될것이다.

특히 가스중 CH₄와 같은 탄화수소들도 부분적으로 분해생성물을 생성하게 된다. 즉 C_nH_{2n+2} = nC + (n+1)H₂가 일어나 C를 발생시키기도 하고, 일부는 이동하여 주형층에 응축되는 것으로 판단되었다.

또 밀도 20kg/m³인 EPS 모형에서 STS 304와 STS 316L의 경우 감압도와 함께 도형제(두께:1mm)내에 Na₂CO₃의 첨가량에 따른 침탄량(%)의 변화를 Fig. 3의 (a)와 (b)에 나타내었다.

여기서 감압이 가장 높은 경우(-53KPa이상)에서는 모형의 분해속도를 초과하는 강한 감압에 의하여 발생된 가스가 신속히 주형벽으로 배출되

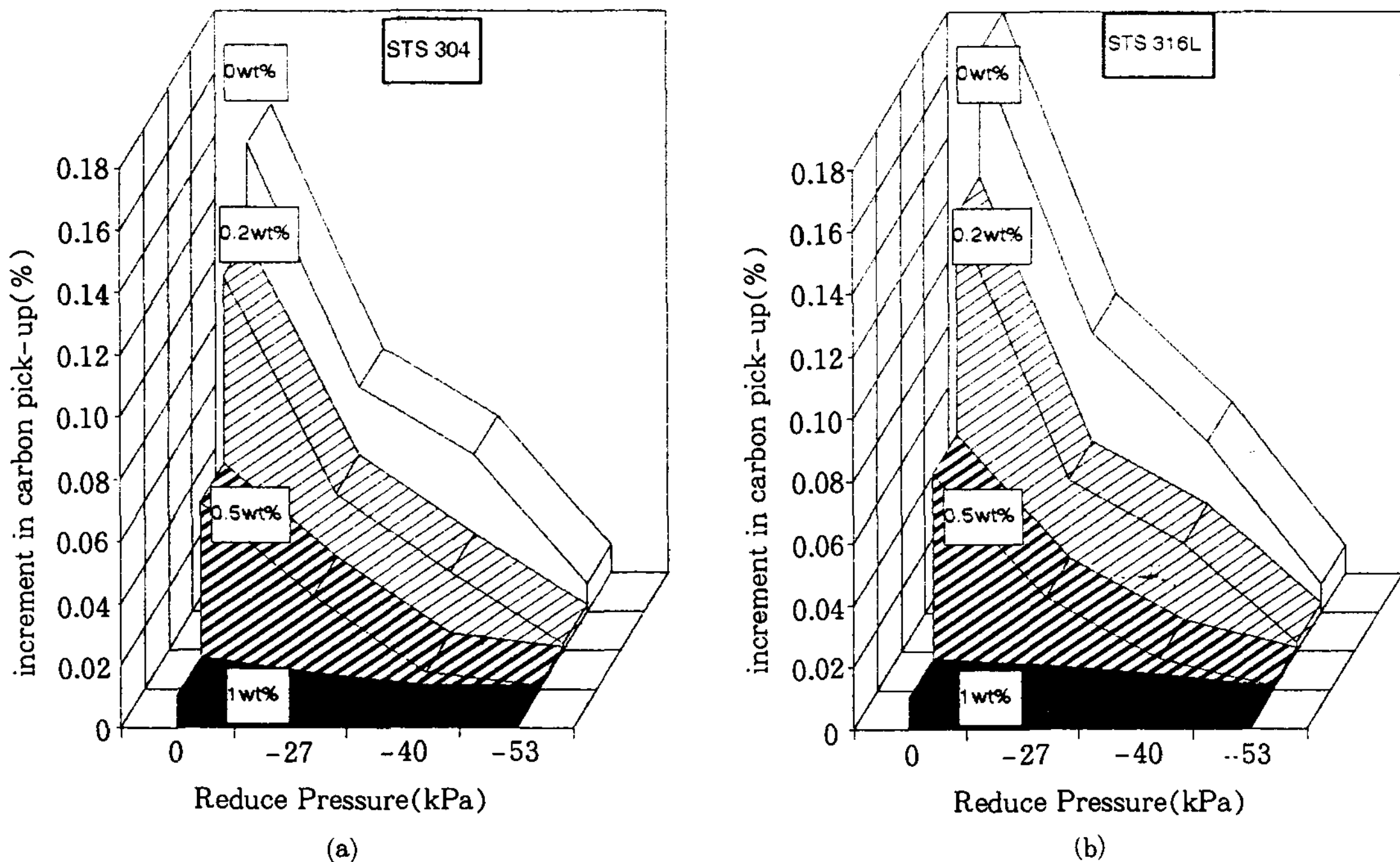


Fig. 3. Relationships between increment in carbon pick-up and reduced pressure casting with various Na₂CO₃ content in coating.

어 침탄량이 현저히 감소하는 것으로 생각된다. 즉 침탄량은 감압도와 역비례한다는 것이 확인되었다. 따라서 침탄량(%)은 감압도를 높이 했을 때와 도형제에 Na_2CO_3 의 양을 증가시킬수록 감소한다. 또 감압을 하지 않았을 경우는 도형제에 Na_2CO_3 의 첨가량을 증가시켰을 때 침탄량의 현격한 차이가 나는 것을 볼 수 있었다. 감압도가 -27kPa 인 경우는 감압을 하지 않은 경우보다 더 적게 나타났고, -40kPa 부터는 아주 작은 차이를 보이고 있는 것을 볼 수 있으며 -53kPa 의 경우는 거의 변화가 없었다.

이는 아주 높은 감압시 EPS연소시 발생하는 가스나 carbon black등을 신속히 제거하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 동일한 감압도하에서 Na_2CO_3 를 도형제에 첨가한 경우 용탕주입시 열분해 하여 CO_2 를 발생시켜 큰 침탄 억제작용을 한 것으로 생각된다.

스테인레스강에서 침탄량(%)은 도형제에 Na_2CO_3 를 1wt%이상 첨가하였을 때 침탄억제에 큰 효과를 볼 수 있었으며, 한편 감압도를 -40kPa 이상 가했을 때 큰 침탄억제 효과를 볼 수 있었다.

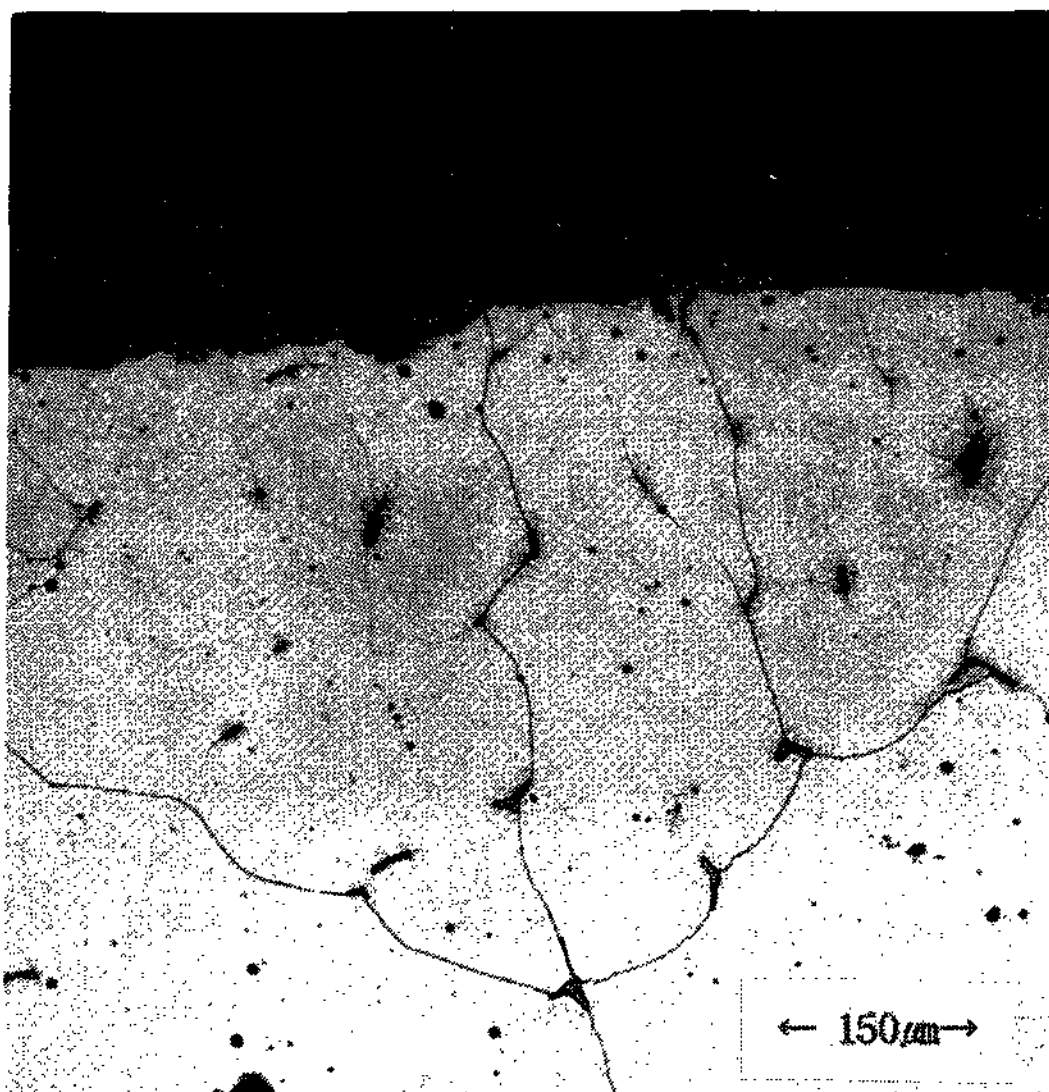
다음의 Photo 3은 도형제에 Na_2CO_3 를 0.2wt% 첨가하여 -40kPa 로 감압시켜 침탄억제 효과가 보이는 STS 304 및 STS 316L의 조직으로

(a)와 (b)를 각각 표면으로 부터 1mm깊이로 하여 나타낸 조직인데 거의 침탄층이 나타나지 않았다. 감압도가 -40kPa 이상이 되면 침탄이 적게 되는 것으로 생각된다. 즉 고체표면 응고층이 주형벽에 형성되면 이 층을 통한 침탄층은 낮은 고상활성화 에너지의 영향으로 극히 작게 되어 침탄은 매우 얇은 표면층에 제한적으로 생성된다. 또한 상주식으로 용탕을 주입하기 때문에 용탕과 EPS모형사이에 생성된 가스층과 접촉하면서 주입되어 침탄이 발생하게 되는데 감압도가 증가함에 따라 이 가스층 역시 얇아져 침탄이 적게 된 것으로 추측된다.

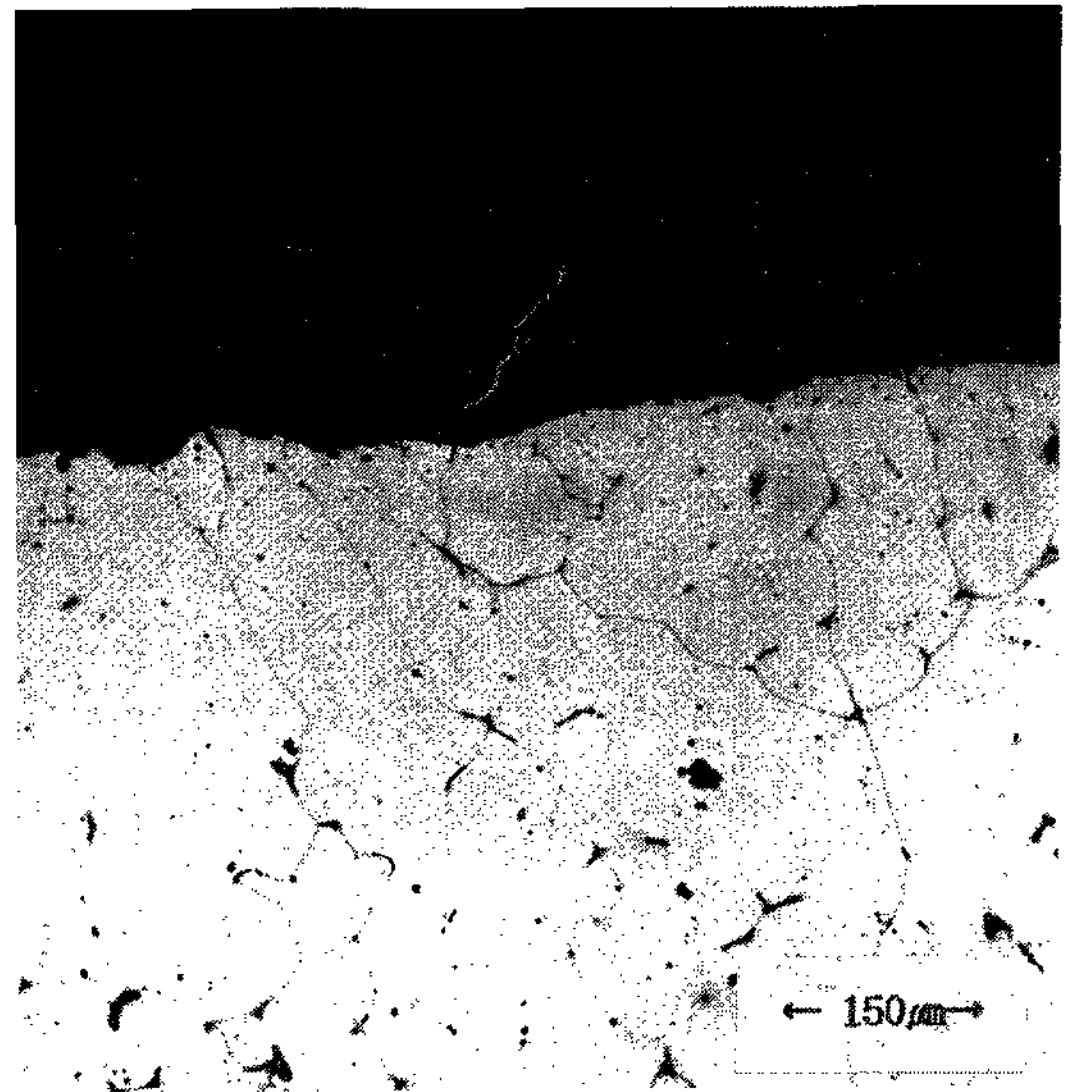
또 용탕과 주형벽사이의 계면에서는 저온의 주물사와 용탕의 접촉으로 급냉 되어서 결정립이 미세화 되고, 내부는 주물사의 온도상승에 의한 보온효과에 의해 응고시간이 길어져서 핵이 중심부로 갈수록 서서히 성장하므로 중심부쪽으로 결정립이 수직으로 성장해 나가 조대화됨을 보이고 있다.

3.2 탄화물 생성의 Morphology

오스테나이트 스테인레스강에서의 확산계수와 활성화 에너지에 대해서는 일부 연구[39~44]에서도 발표한바 있으며 Fick's의 확산이론에 의하



(a) Na_2CO_3 content : 0.2wt% (STS 304)



(b) Na_2CO_3 content : 0.2wt% (STS 316L)

Photo 3. Structure of the carburized stainless steel alloys. (Reduced pressure : -40kPa)

면 표면층으로 향한 탄소확산속도가 내부로 향한 확산속도를 초과한다면, 식 (6)과 같이 된다.

$$dC_n/dt > -D(\partial c/\partial x) \dots\dots\dots(6)$$

여기서 dC_n : 표면농도

dt : 확산시간

∂c : 농도의 변화량

∂x : 확산거리

(6) 식으로 부터 표면층의 탄소침탄은 확산시간과 농도기울기 $\partial c/\partial x$ 에 의해 결정된다고 볼 수있다. 따라서 STS 304와 STS 316L의 경우 탄소함량의 차이때문에 침탄층 깊이가 차이가 나는것으로 예상된다.

Fig. 4의 (a)는 STS 304에서 도형제에 Na_2CO_3 의 첨가량의 변화에 따른 침탄깊이와 -27KPa 감압의 경우 침탄깊이를 미세 비커스 경도기를 사용하여 측정한 결과를 나타내었다.

이 강의 경도 (Hv)의 범위는 170~190으로 나타났다.

여기서 도형제에 Na_2CO_3 를 첨가하지 않은 경우는 가장 큰 경도값을 나타내며 침탄깊이는 $350\mu m$ 으로 깊게 경화된것을 볼수있고, 0.2wt%는 $270\mu m$, 0.5wt%는 $70\mu m$, 그러나 1wt%를 첨가한 경우는 침탄층이 거의 나타나지 않아, 깊이

에 따른 정도의 차이를 볼수없었다. 그리고, 0.2wt%를 첨가한후 -27kPa로 감압하였을 때는 0.5wt%와 거의 유사한 값인 $80\mu m$ 으로 나왔다. 이는 감압을 시키면 침탄억제 효과가 크다는 것을 알수있다.

또 경도측정시 높은값이 나타낸 부분이 있었는데 이는 용탕주입시 불순물의 침입으로 개재물이 형성되어 나타난 것이고, 또 입계에 탄화물이 생성하여 경도 차이가 나타난 것으로 생각된다.

경도측정의 결과를 보면 침탄억제 효과는 Na_2CO_3 의 양이 0.5wt%부터 크게 나타나고 1wt%에서 가장 큰 침탄억제효과를 볼수있었다.

이와같이 도형제에 Na_2CO_3 의 양이 적을수록 carbon black등이 강과 반응하기 좋은 침탄분위기를 형성하여 탄소확산이 잘일어나므로 내부를 향하여 깊게 침탄층이 발생된 것으로 생각된다.

STS 304와 동일한 실험조건하에서 STS 316L 강을 도형제에 Na_2CO_3 의 양을 변화시켜 첨가한것과 감압도를 -27KPa로 하고 Na_2CO_3 양을 0.2wt%로 하였을때의 값을 Fig. 4의 (b)에 나타내었다.

감압시키지 않고 도형제에 Na_2CO_3 만 0.5wt% 첨가한 경우 약간의 침탄 억제효과를 볼수있었지

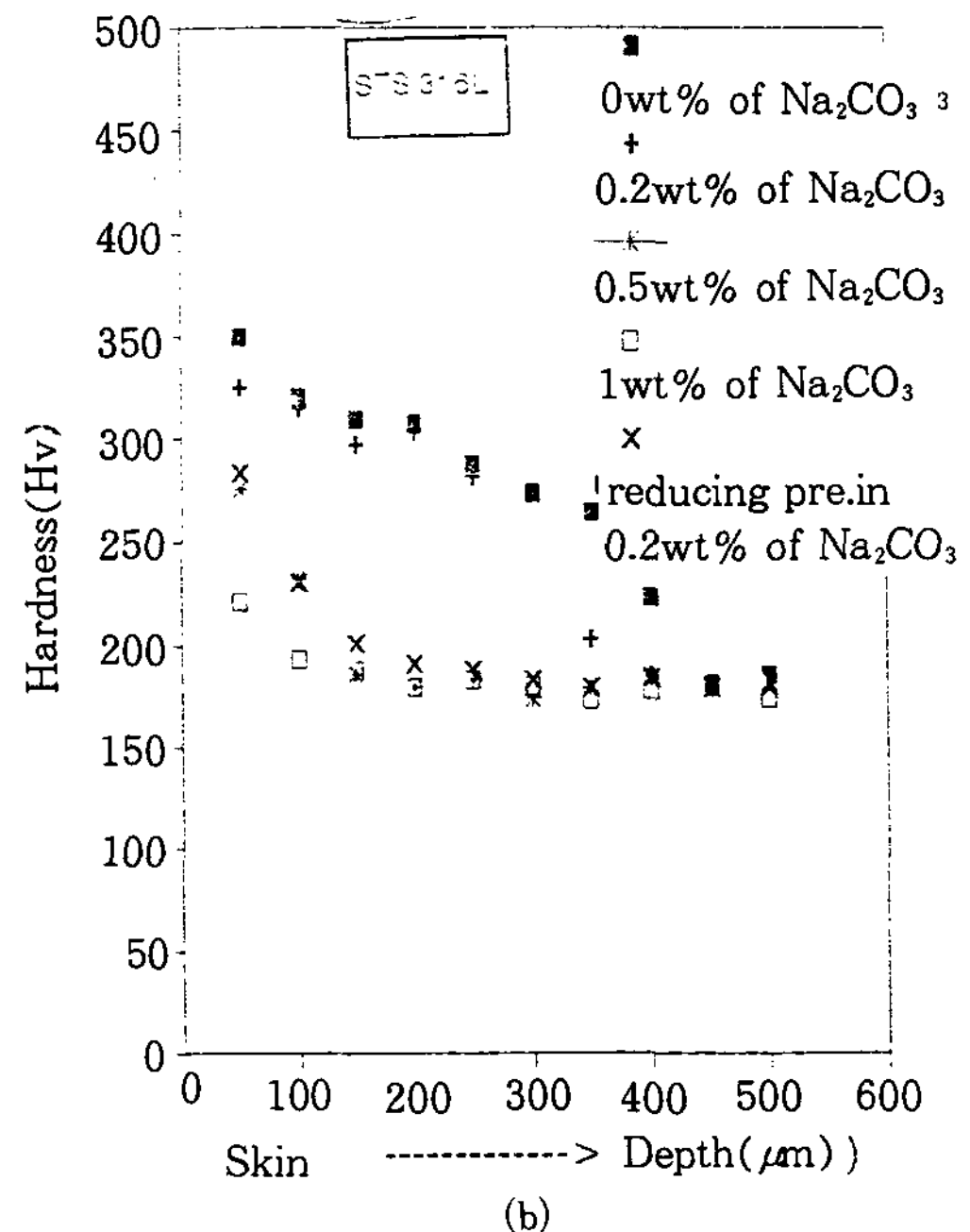
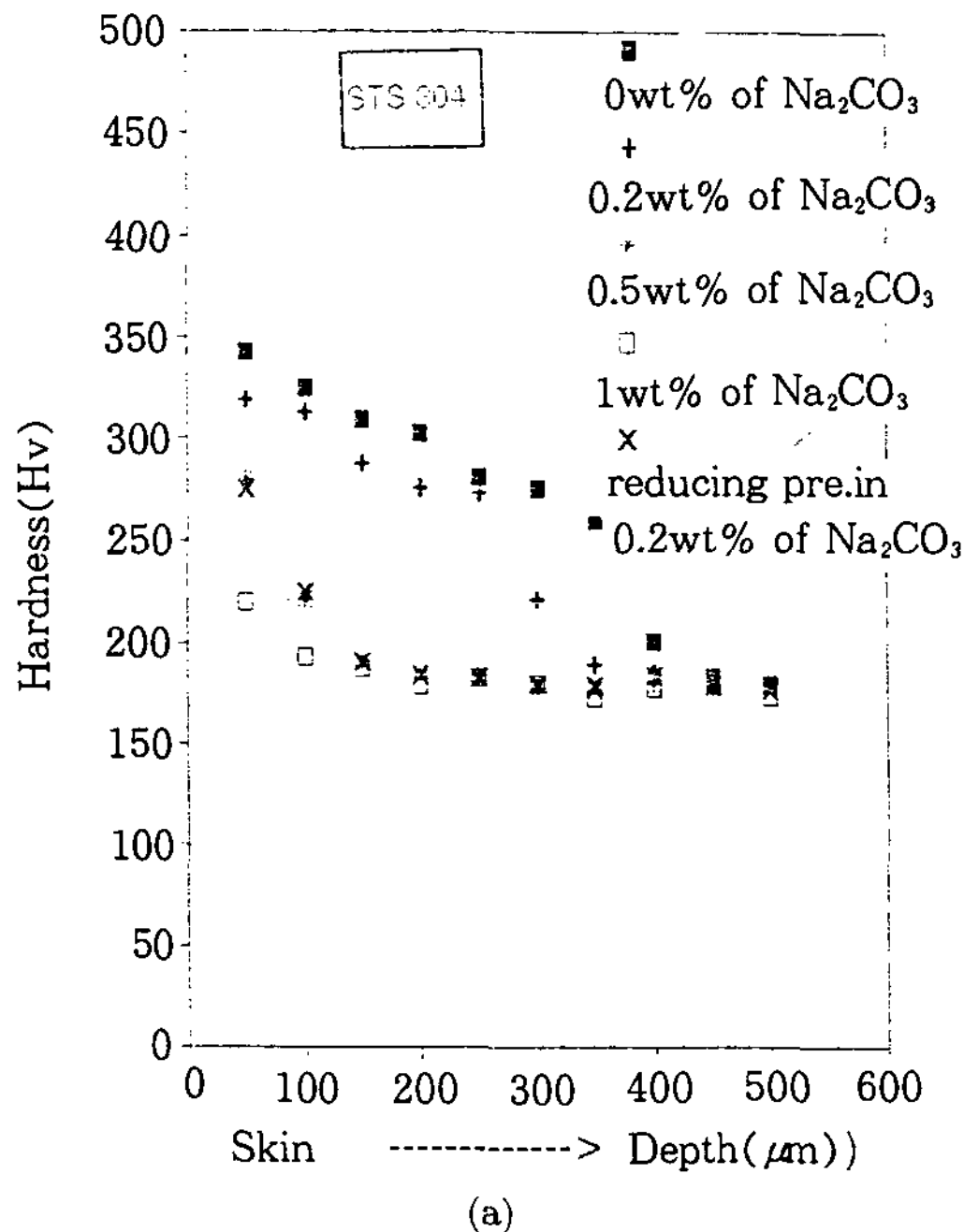


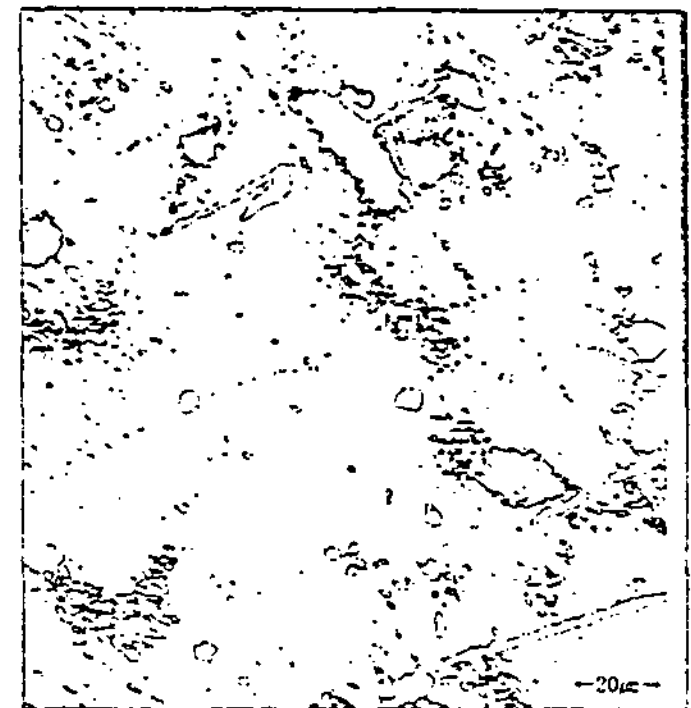
Fig. 4. Comparison of carburizing technique of STS 304 and 316L.



austenitic 304 stainless steel
(Na₂CO₃ : 0wt%)



austenitic 304 stainless steel
(Na₂CO₃ : 0.2wt%)

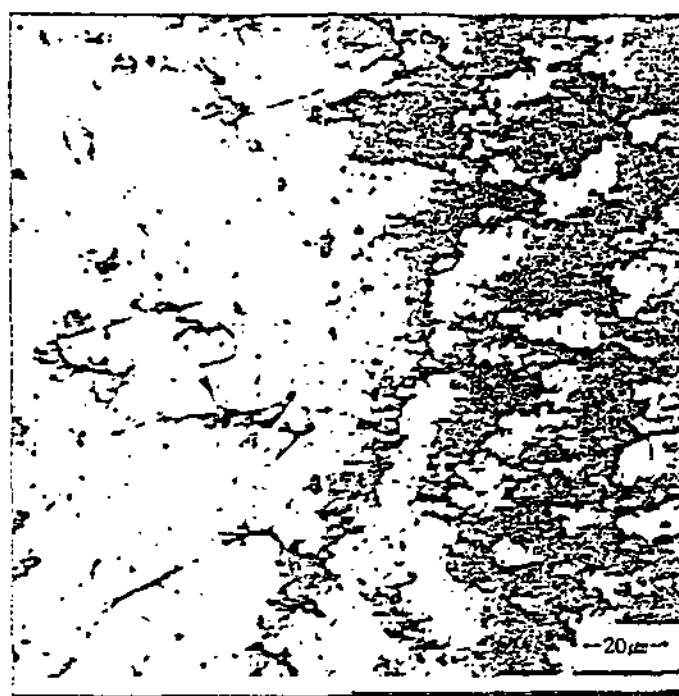


austenitic 304 stainless steel
(Na₂CO₃ : 0.5wt%)



austenitic 316L stainless steel
(Na₂CO₃ : 0wt%)

(a)



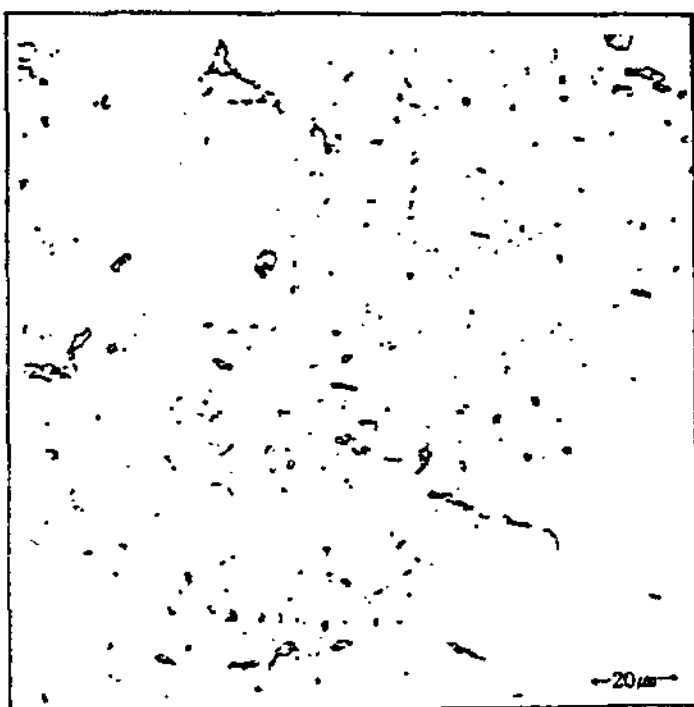
austenitic 316L stainless steel
(Na₂CO₃ : 0.2wt%)

(b)



austenitic 316L stainless steel
(Na₂CO₃ : 0.5wt%)

(c)



austenitic 304 stainless steel
(Na₂CO₃ : 1wt%)

(d)



austenitic 316L stainless steel
(Na₂CO₃ : 1wt%)



Reduced pressure : -27kPa
austenitic 304 stainless steel
(Na₂CO₃ : 0.2wt%)

(e)

Fig. 5. Phase image analyzer of stainless steel by optical microphotograph.

만 감압을 시키면 그 보다 침탄억제 효과가 크게 되었다.

도형제에 Na_2CO_3 를 첨가하지 않았을 경우는 $370\mu\text{m}$, $0.2\text{wt}\%$ 에서는 $300\mu\text{m}$, $0.5\text{wt}\%$ 일 경우는 약 $70\mu\text{m}$ 으로 나타났고 $1\text{wt}\%$ 에서는 침탄층이 거의 나타나지 않았다. 또 $0.2\text{wt}\%$ 를 첨가시켜 감압한 경우에는 $50\mu\text{m}$ 미만으로 측정되었다. (a)와 (b)를 비교해본 결과 STS 316L이 침탄층이 더 깊게 된것을 볼수 있었으며 감압의 효과도 더 크게 나타났다.

그 이유는 STS 316L 강이 STS 304강보다 탄소 함유량이 적기 때문에 침탄이 깊게 일어난 것으로 생각된다.

이와같은 침탄 깊이의 차이를 분석한 결과를 정확히 확인하기 위하여 image analyzer를 사용하여 침탄층의 상분석결과를 Fig. 5에 나타내었다. (a)는 STS 304와 STS 316L에 각각 Na_2CO_3 를 첨가하지 않은 경우, (b)는 $0.2\text{wt}\%$ (c)는 $0.5\text{wt}\%$ (d)에서는 $1\text{wt}\%$ 첨가했을때이고 (e)는 -27KPa 로 감압과 동시에 Na_2CO_3 를 $0.2\text{wt}\%$ 첨가한 경우를 나타낸것이다. 이 결과로 부터 Na_2CO_3 를 첨가한 경우에는 침탄억제 효과가 $0.5\text{wt}\%$ 에서 부터 크게 나타나는 것을 재확인할 수 있으며, $1\text{wt}\%$ 에서는 거의 침탄이 나타나지 않았다. 도형제에 $0.2\text{wt}\%$ 의 Na_2CO_3 를 첨가하여 감압시킨 것은 감압시키지 않은 $0.5\text{wt}\%$ 의 경우와 거의 침탄깊이가 유사하였다. 이 원인은 감압 주조시 EPS분해에 의해 침탄에 영향을 미치는 발생 가스가 감압으로 인한 배출효과와 동시에 도형제내의 Na_2CO_3 로 부터 발생하는 CO_2 가 침탄억제 작용을 한 것으로 판단된다.

그러나, image analyzer에 의한 분석은 단지 화상분석상 검게 착색된 부분은 모두 침탄이라 분석하기 때문에 입계나 기공등과 같은 부분도 검게 나타나므로 모두 침탄된것으로 인식하는 단점이 있어 Na_2CO_3 의 첨가량이 $1\text{wt}\%$ 인것도 침탄이 된것으로 분석하는 문제점이 있었다.

STS 304강 보다 STS 316L강이 침탄이 더욱 많이 되는 것은 앞에서 확인한 결과와 일치하였다. 이러한 침탄의 차이는 STS 316L이 탄소량이 적기 때문에 Fick's의 확산법칙에 의해 더 많은 침탄이 이루어지기 때문이다. 또한 Cr이 탄소의 활성화에너지를 감소[45]시키므로 Table 1에

나타낸 바와같이 STS 304가 STS 316L보다 Cr량이 많은 것도 그 원인이라 사려된다.

Photo 1과 Photo 2에서 나타낸 바와같이 STS 304와 STS 316L은 안정화된 오스테나이트 조직을 가지며 입내 및 입계에 탄소 및 탄화물이 형성되고 일부 개재물도 석출되는것을 image analyzer에서도 확인할수 있었다.

STS 304 및 316L에서 나타나는 탄소확산은 용탕주입시 고온에 의한 소실모형(EPS)의 분해시 발생가스로 부터 carbon black등이 생성하여 강내에서 탄소확산을 일으켜서, 강중에 크롬이 있을경우 탄소와 반응하여 $900^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ 에서 탄화물로 생성되어 이것이 침탄을 억제 시키는 것으로 생각된다.

강의 탄화물생성은 Table.1에 나타낸 원소들이 탄소와 고온반응할때 내부결합에너지가 가장 강한 원소가 먼저 탄소와 반응하며, 용탕주입시 탄소확산과 더불어 입내 및 입계에서 탄화물을 생성한다.

탄화물 생성을 Photo 4와 같이 TEM으로 조사하여 확인하였다. Cr의 결합에너지가 크기 때문에 오스테나이트 스테인레스 강중에 발생하는 탄화물은 주로입계에서 CrxCy 가 형성되어 나타났다.

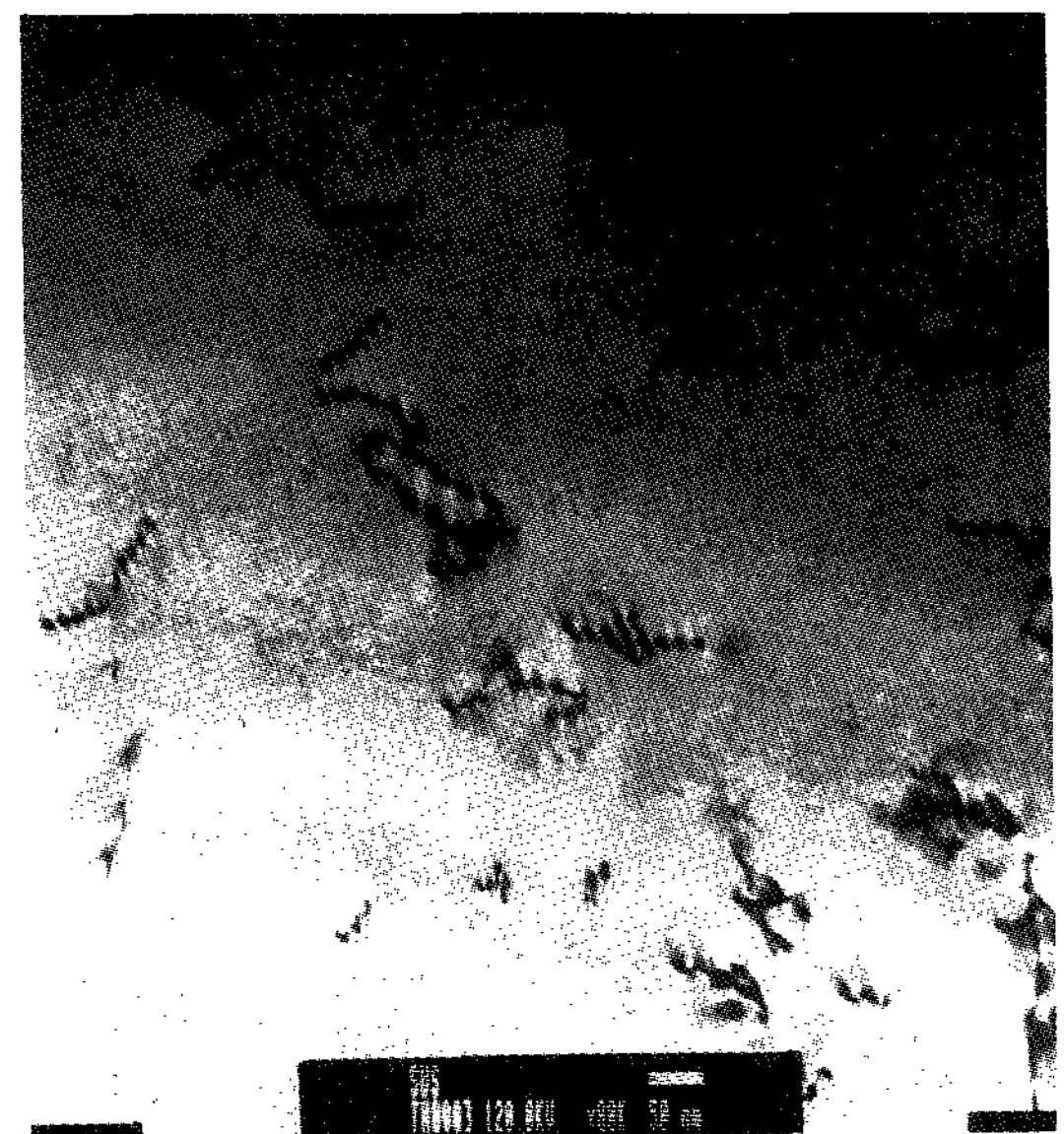


Photo 4. Carbide image analyzer of STS 304 by TEM(8.8K).

본 연구에서 중요한 발견은 오스테나이트 스테인레스강의 침탄을 억제하는데, 중요한 역할을 하는 것은 Na_2CO_3 의 첨가량과 감압도이며 이를 적절히 조절하면 건전한 주물을 제조할수 있을 것으로 사료된다.

단지 본실험에서는 소형주물에서만 실험을 하였기 때문에 대형주물에서 발생하는 침탄과 복잡한 주물에서 가스에 의해 발생하는 침탄을 예측하기 어려운 문제점이 있었다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 오스테나이트 스테인레스 강 의 침탄거동으로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 도형제내에서 Na_2CO_3 의 첨가량을 증가시 킬수록 표면침탄층 깊이는 감소되었다. 이는 Na_2CO_3 의 열분해시 용탕표면에 CO_2 를 발생시켜 carbon black 및 CO등의 양을 감소시키는 것이 그 원인으로 생각된다.

(2) STS 316L의 경우 도형제내에 Na_2CO_3 를 0, 0.2, 0.5, 1wt% 첨가한 결과 침탄깊이는 각각 $370\mu m$, $300\mu m$, $70\mu m$, $0\mu m$ 이었다. 0.5wt%의 첨가 량부터 침탄억제 효과가 현저하게 큰것으로 나타 났다.

(3) 동일한 실험조건에서 STS 316L이 STS 304보다 침탄량이 증가되었는데 이는 STS 316L이 탄소함유량이 적기때문이고 또한 탄소 확산시 주로 업계에 생성한 $C_{rx}C_y$ 가 침탄을 억제 시키는 역할이 그원인이다.

(4) 용탕주입시 감압(-27kPa)에 의한 Na_2CO_3 0.2wt% 도형제에서도 감압을 하지 않은 Na_2CO_3 의 0.5wt%도형제와 마찬가지로 침탄억 제 효과가 유사하게 나타났다. 따라서 감압하지 않는 경우보다 감압을 하였을때 침탄 억제효과가 컸다. 반면에 동일한 주물에서는 상부층보다 측 면부나 하부가 침탄량이 적게 나타났다.

후 기

1995년도 국민대학교 학술연구비 지원에 의하 여 연구된 논문임.

참고문헌

- [1] C.A.Goria, G.Caironi and M.Selli : Metal- lurgical Science and Technology, (June. 1983) 14-31
- [2] Keiji Tamura : Imono, 59(1987) 708-715
- [3] Masashi Motoyoshi : Imono, 59(1987) 722-724
- [4] Yukio Toyama : Imono, 59(1987) 725-728
- [5] H.F.Shroyer : U.S.Patent No.2, 830, 343 (Apr. 15, 1958)
- [6] 日本鑄物協會編 : 鑄物便覽(1986) 44-45
- [7] R.D.Butler : The British Foundryman, (June. 1964) 265-273
- [8] H.B.Dieter and A.J.Paoli : Modern Cast- ing, Vol.51 No.6 (Jan. 1967) 147-160
- [9] K.Srinagesah and K.S.Narayanan : The British Foundryman;(Mar.1971) 91-94
- [10] R.H.Immel : AFS Trans. (1979) 545-550
- [11] S.Shivkumar and B.Gallois : AFS Trans. (1987) 791-800
- [12] Hirozo Kida, Yasuhiro Fujimoto and Kunihika Konishi : Imono, 66(1994) 587-593.
- [13] J.S.Hansen : Evaporate Pattern Casting, Volume 1, (1985) 107-115
- [14] Yasuo Yamamoto, Satoshi Takimoto, Hidekazu Miyake, Dr. Eng, and Akira Okada, Dr. Eng, : Imono, 59 (1987) 729-733
- [15] Yasuji Sakaguchi, Mideaki Ota, Yoshihiro Usami and Shigeo Awano : Imono, 59 (1987) 760-763
- [16] Yasuji Sakaguchi : Imono, 59 (1987) 699-707
- [17] Hidekazu Miyake, Yasuo Yamamoto, Hiroyuki Terumoto, Satoshi Takimoto and Akira Okada : Imono, 61(1989) 798-802
- [18] Kunihiko Kanoh : Imono, 62(1990) 168

- 173
- [19] Takao Naoi, Hiromi Watanabe, Shunchiro Arai, Kazuichiro Minami and Kenji Chijiwa : Imono, 60 (1990) 270-276
- [20] 조성수, 조남돈 : 한국주조공학회지, 8(특집 2호) (1988) 357-360
- [21] 조남돈, 김용남 : 한국주조공학회지, 2 (1987) 122-132
- [22] R.D.Butler and R.J.Pope : The British Foundryman, (Apr. 1964) 178-191
- [23] H.S.Lee : AFS Trans. (1976) 559-570
- [24] Kiyohiko Hosoda, Koji Yamada and Masato Miyake : Imono, 59 (1987) 738-740
- [25] Hidekazu Miyake, Yasuo Yamamoto, Takahiro Sato Akira Okada : Imono, 59 (1987) 754-759
- [26] Koichi Mukasa and Shunji Kawai : Imono, 59 (1987) 741-742
- [27] Hidekazu Miyake, Yasuo Yamamoto, Satoshi Takimoto and Akira Okada : Imono, 60 (1988) 512-517
- [28] Yasuji Sakaguchi : Imono, 64 (1992) 38-43
- [29] A.J.Hick and H.C.Child : Surf.J., 10(1) (1979) 17-20
- [30] G.E.Murch and R.J.Thorn, J.Phys. Chem. Solids, 40(5) (1979) 389-391
- [31] B.A.Moiseev, Yu M. Brunzel and L.A. Shvartsman : Metalloved. Term. Obrab. Met., (6) (1979) 24-27
- [32] R.N.Khudokormova, V.B.Levitan, E.M. Lapisevian and T.M.Gavrilova : Metallurgiya (Minsk), 12(1978) 88-91
- [33] J.Parlossoglou : Härterei-Tech. Mitt., 34 (1) (1979) 14-23
- [34] T.Bell : Inst. Metall. Ser. 3, Surf. Treat. Protection, 10(1978) 76-94
- [35] T.Naito : Jpn. Kokai Tokyo Koho, 146 (1978) 234.
- [36] B.V.Grigorevskii : Metalloved. Term. Obrab. Met., 3 (1979) 7-8
- [37] Yu.A.Stepanov and D.S Grishin : Russian Casting Production(1972) 189
- [38] 조남돈, 윤종규 : 대한금속학회지, 21편 10호 (1983) 43-55
- [39] S.J.Rothman, L.J.Nowiski and G.E. Murch : J.Phys.F, 10(1980) 383~393
- [40] T.S. Eyre and J.Morris : Inst. Metall. Ser. 3, Surf. Treat. Protection, 10 (1978) 95~103
- [41] W.Hume-Rothery : The Structure of alloys of Iron , Pergamon, Oxpord, (1966) 82
- [42] J.Baud, A.Ferrier, J.Manenc and J. Benard : Oxid.Met 9(1) (1975) 69~97
- [43] B.S.Chun : Nonmunjip - Chungnam Taehakkyo Kongup Kisul Kaepal Yonguso, 4(1) (1977) 55~58
- [44] J.J.Moore and G.G.Storey : Metallurgia, 46(1976) 695~703
- [45] T.Wada, H.Wada, J.F.Elliott and J. Chipman : Metall, Trans 2(1971)2199~2208