

論 文

Mn 및 Cr 주강의 주형반응에 관한 연구

이진호* 정정연* 이종남**

Study on Mold-Metal Reaction in Castings of Mn-Steel and Cr-Steel

J. H. Lee, J. Y. Jeong, J.N. Lee

ABSTRACT

In order to investigate the mold reaction characteristics of Mn steel and Cr steel castings individually, the mold reaction products were examined by scanning electron microscopy, electron probe microanalyzer and X-ray diffractometer.

From this experiment, the results were summarized as follows:

- 1) The mold reaction depth increased with increase of Mn content, while it decreased with increase of Cr content.
2) Mold reaction depth decreased with Mn content at 1200°C.
3) Mn, among the reaction products, forms a low fusion silicate, Mn O.SiO2 while Cr forms a stable oxide, CrO3 which hindering the reaction between FeO and SiO2 thus the formation of FeO.SiO2 was depressed.

1. 서론

강주물에서 발생하는 소착현상은 주물후처리 작업시에 이것을 제거하기 위하여 많은 시간을 필요로 하며 주조품의 기계적 성질을 저하시키기 때문에 주조작업시 많은 주의를 필요로 한다.

또한 주형재료가 발달하여 다양해 지고 있는 상태에서는 더욱 많은 연구가 필요하다.

소착현상은 오래전부터 많은 연구가 이루어져 왔으며, (10) 소착기구에 관해서는 여러가지 모델이 있겠으나 대략 살펴보면 용탕정압의 차이나 계면의 표면장

력, 점성의 차이에 (11) 의한 용융금속의 침투현상인 물리적인 소착과, (1-3) 주형과 용탕간의 계면반응에 의한 화학적소착 (3,7,12,14) 으로 구분되며, 후자의 경우 주형에 주입된 고온의 용탕표면은 주형공간중의 산소나 주형내의 수분과 반응하여 철산화물(FeO)을 형성하고 이때 생성된 철산화물은 주형내의 SiO2 와 반응하여 저융점철규산염인 fayalite (FeO.SiO2)를 생성시키며 이때 생성된 액상 fayalite는 비교적 점도와 표면장력이 낮기 때문에 주형사이로 쉽게 흘러들어가서 소착을 일으키게 된다.

이러한 소착현상이 일어나는 원인에는 주물사의 입도나 화학성분, 주입온도와 주물의 크기에 따른 용탕의 압력등 여러가지 요인이 있겠으며 첨가재의 종류나

* 고려대학교 대학원
* 고려대학교 대학원
** 고려대학교 교수

주형내의 gas 분위기에^{7,8,13,14)} 따라서는 상당한 영향을 받을 것으로 사려된다.

한편 산업의 발달과 함께 특수한 재질의 필요성에 의해서 합금성분을 이용한 주물소재의 요구도 점차 다양해짐에 따라 용탕내의 합금원소에 따르는 영향도 상당히 클 것이라고 사려된다.

예를 들면 C함량이 높은 주철주물의 경우 주강보다 소착은 덜 일어날 것이며 이것은 용탕속에 들어있는 C함량에 따라 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

따라서 본 실험에서는 주강성분중 Mn 함량과 Cr 함량을 변화시켜서 이때 Mn과 Cr이 소착현상에 어떻게 영향을 미치는가를 조사하고자 하였다.

2. 시험방법

2-1 시편제작

주물사로 사용된 규사는 인조규사 5호로써 그 입도분포와 화학조성을 Table 1, Table 2에 각각 나타냈다.

Table 1 Chemical composition of artificial silica sand

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	others
Content (%)	96.95	1.95	1.01	Tr.

Table 2 Particle size distribution of artificial silica sand

Partide size (mesh)	30	40	50	70	100	140	200	290	PAN
%	16.4	31	2.56	12.2	9.2	3.6	1.4	0.8	0.6

Table 3 Chemical composition of iron samples

Element Sample	C	Si	Mn	Cr	P	S
1	0.21	0.37	12.3		0.011	0.02
2	0.15	0.41	7.89		0.021	0.005
3	0.18	0.43	4.15		0.014	0.059
4	0.14	0.25	0.38	11.95	0.019	0.018
5	0.16	0.31	0.45	8.10	0.009	0.021
6	0.17	0.38	0.42	4.10	0.023	0.01

용탕대신 사용된 강편의 종류와 화학조성을 Table 3에 나타냈다. 시험편은 인조규사에 물유리 5% (wt %)를 배합하여 Simpson mill 로 10분간 혼련한 후 Fig.1에 나타낸바와 같이 20 φ × 50 mm의 mold 속에 강편을 넣고 그 위에 모래 12 g을 넣은 다음 sand rammer 로 3회 다진후 CO₂ gas를 취입하였다.

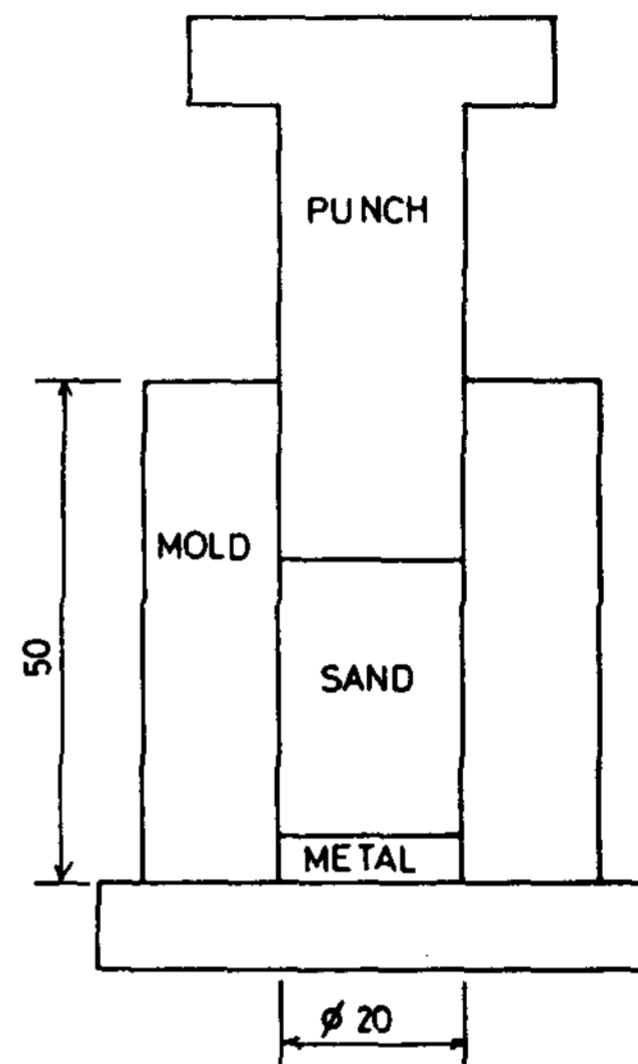


Fig.1 Configuration of mold

시험편을 굳힌 후에 수분을 제거하기 위하여 200 °C에서 2 hr 동안 oven속에서 건조시켰다.

2-2 실험장치

주형반응 실험은 물리적소착을 배제하고 화학적소착만을 조사하기 위하여 잘 연마한 강편을 모래 위에 접촉시키고 고온에서 일정시간 동안 가열하는 방법을 선택하였다.

이 방법에서의 반응과정을 실제의 강주물의 표면과 비교하여 보면 온도변화의 방향이 거꾸로 되고 표면의 산화상태도 달라지게 된다.¹⁵⁾ 따라서 실제의 경우와 비슷하게 하기 위해서 가능한한 급속한 가열방법을 취하였다. 실험장치는 Fig.2에 나타냈다.

가열에는 Fig.2에서와 같이 50 φ × 500 mm의 tube furnace를 사용하였으며 노 중앙부에 zirconia판을 사용한 시편지지대를 놓은 다음 그위에 시편을 올려놓고 대기중에서 1~6번까지의 시편을 1,200 °C, 1,300 °C, 1,400 °C의 온도에서 각각 20분 간격으로

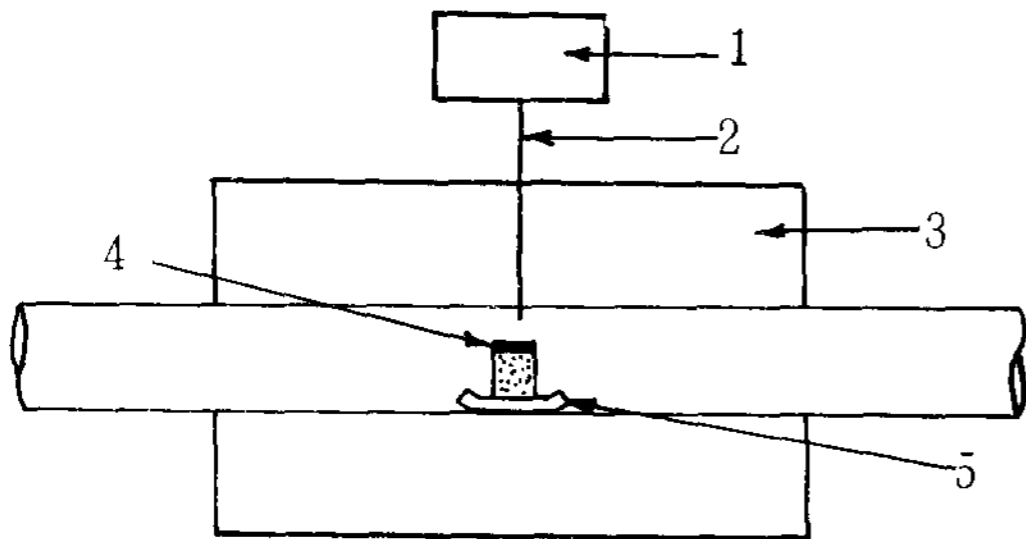


Fig.2 Schematic drawing of experimental apparatus

- 1:Thermocontroller
- 2:Thermo-couple
- 3:Heating element
- 4:Specimen
- 5:Specimen support

로 가열시켰으며 소정시간에 도달하였을 때에 전원을 끄고 냉각시켰다.

냉각후 꺼낸 시편은 호마이카로 mounting하여 시험편 중앙부를 수직으로 절단하였다. 절단한 면에서 반응층 두께를 측정하였다.

반응층중의 반응생성물에 대해서는 X-ray diffraction에 의한 반응생성물의 검출과 전자주사현미경에 의한 반응생성물에 대한 조직관찰과 함께 EPMA에 의한 원소분석도 아울러 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 반응층의 형태

공기중에서 가열하였을 때 철의 산화형식은 Fig. 3 과 같이 나타내며 이때 주형내의 분위기를 조사하여 보면 온도가 올라감에 따라 주형내의 산소량은 저하하여 압력은 $1 \sim 10^{-2} \text{ mm Hg}$ 정도가 된다.¹⁶⁾ 이 온도에서는 FeO가 안정한 산화물로 존재하게 되며 이때 생성된 FeO는 주형내의 SiO₂와 반응하여 저융점철규산염인 fayalite를 생성하게 된다.

한편 생성된 액상 fayalite는 모래사이로 침투하여 반응층을 이루게 되며 이것을 Photo.1에 나타냈다. Photo.1에 나타낸 시험편은 1,400°C에서 60분간 반응시킨 것으로 반응후 시험편의 중심부를 수직으로 절단한 단면적의 외관을 나타낸 것이다.

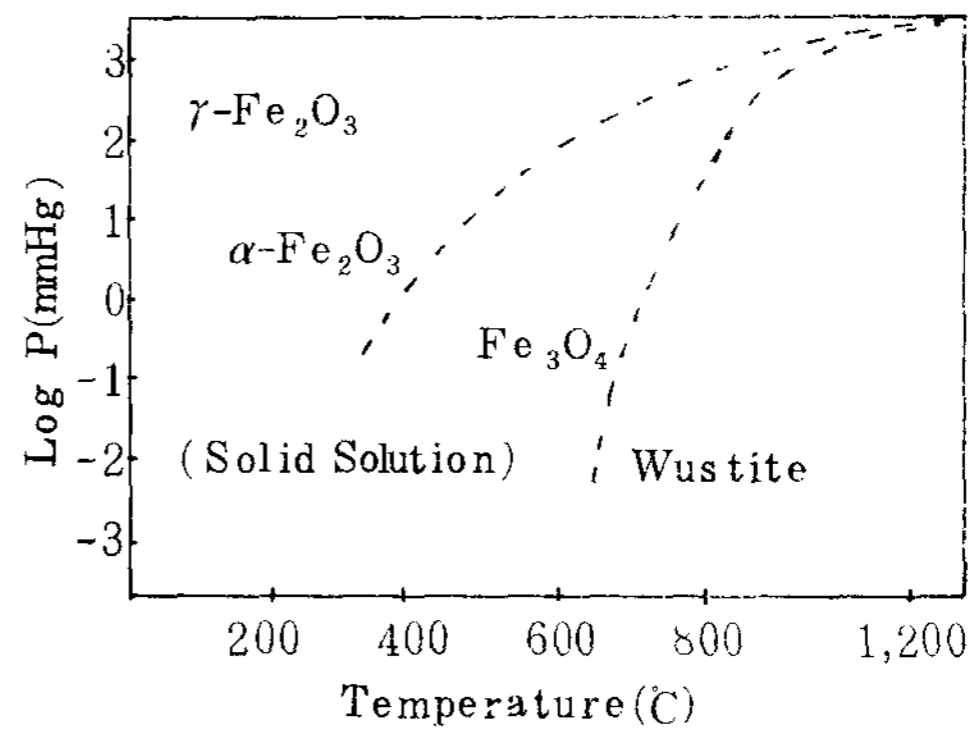
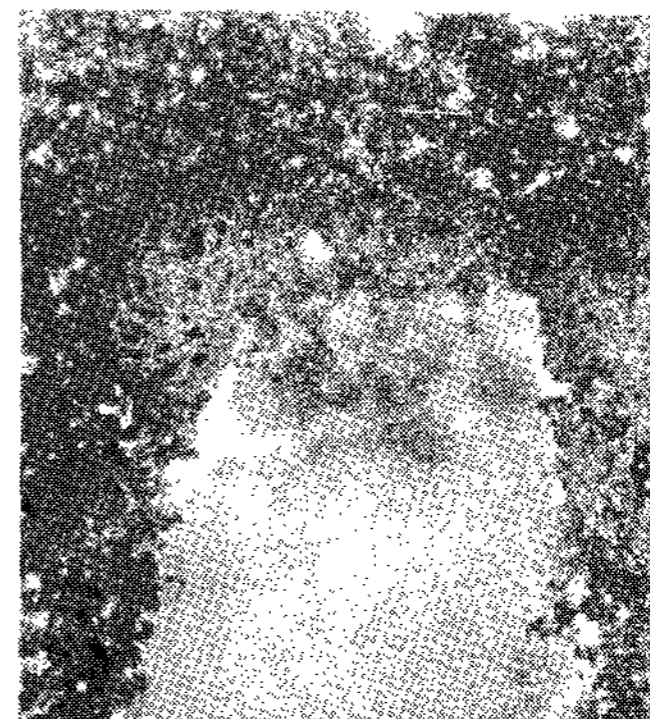
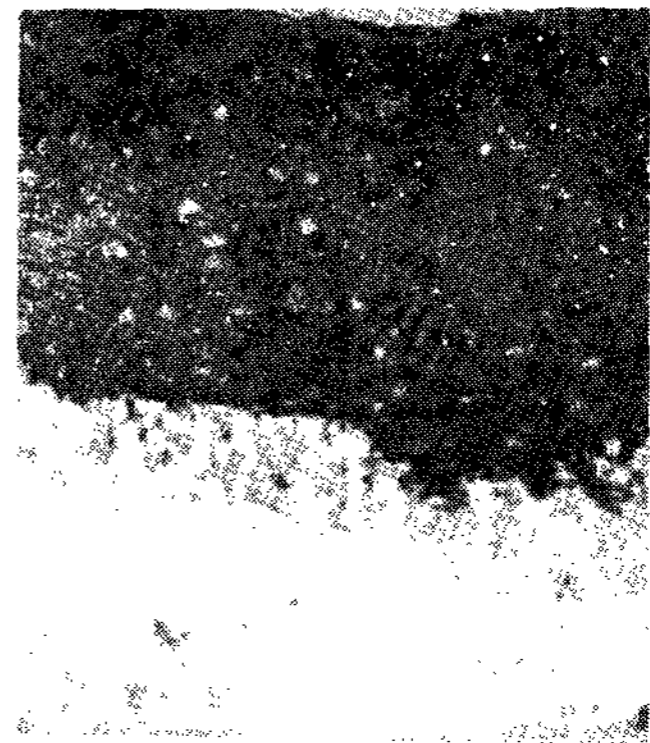


Fig.3 Pressure vs. temperature on oxidation in iron ores.



a. Mn 12%



b. Mn 4%

Photo.1. Macro photographs of specimen after Mold-Metal reaction

3-2 주형반응에 미치는 Mn 과 Cr 의 영향

3-2-1 주형반응에 미치는 Mn 의 영향

Mn 함량이 12%와 4%인 경우에 각 온도에서 시간

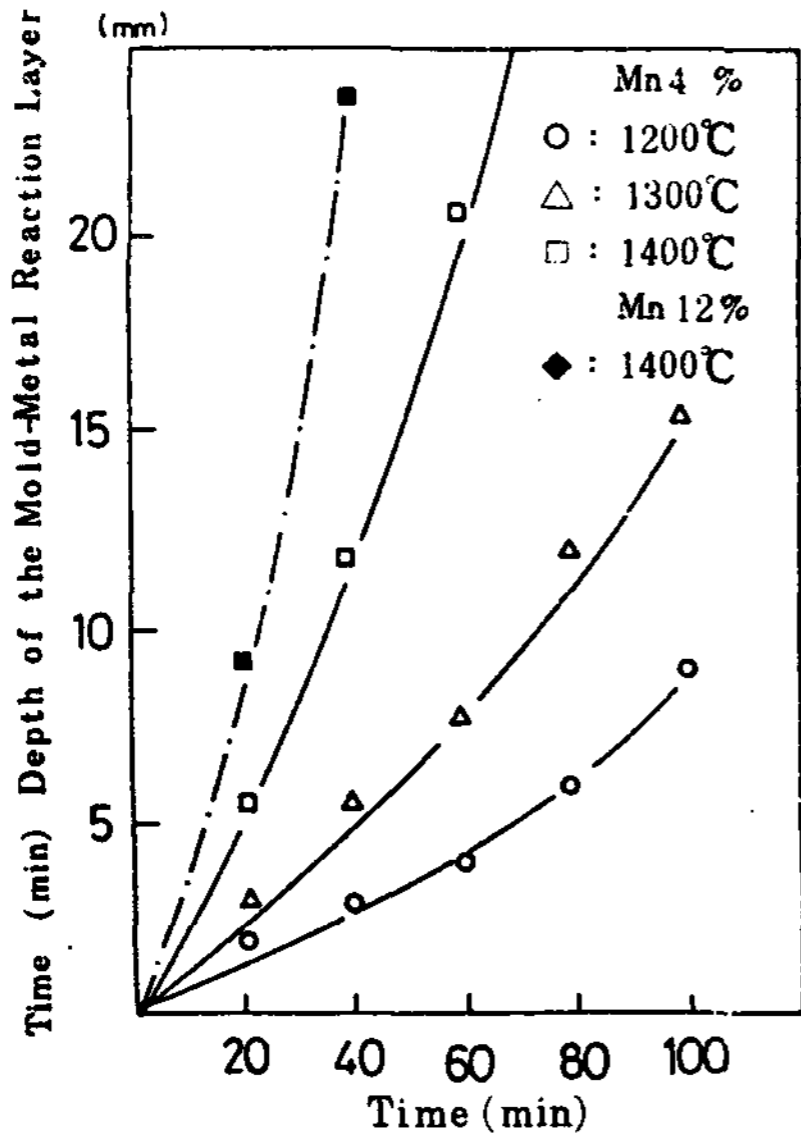


Fig.4 Depth of the Mold-Metal reaction layer vs. reaction time in Mn steel castings reaction temperatures.

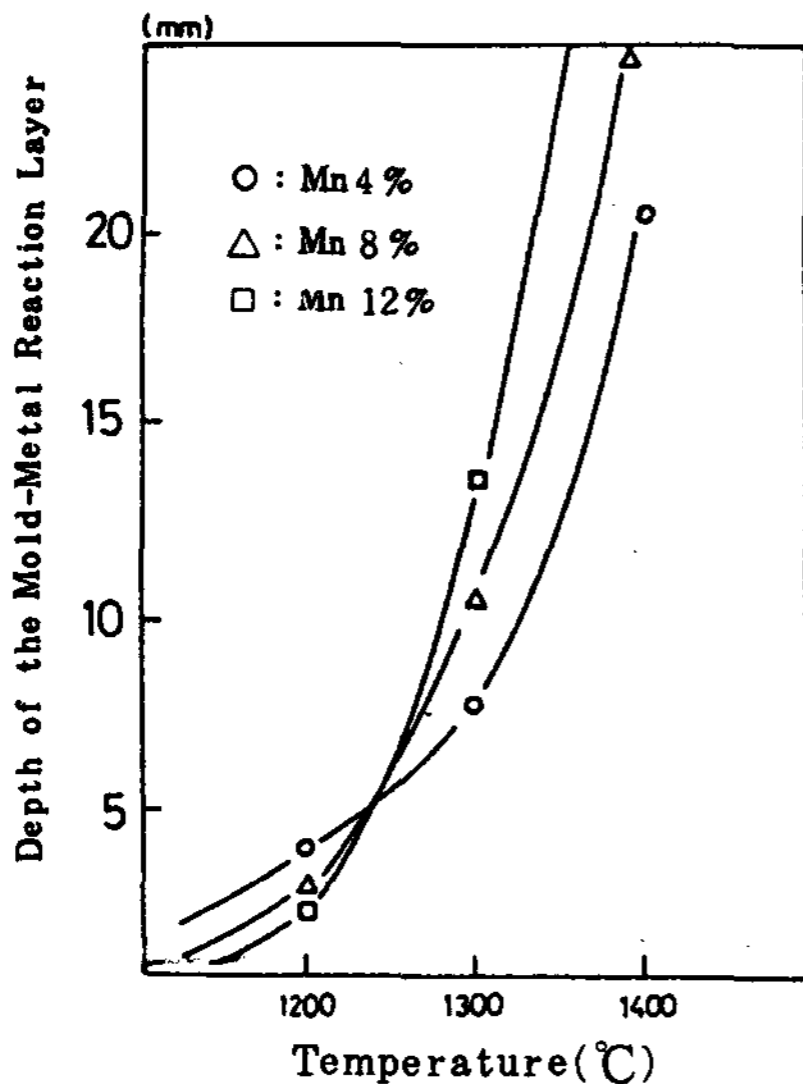


Fig.5 Depth of the Mold-Metal reaction layer vs. reaction temperature in Mn steel castings at various manganese contents. (Reaction time; 60 min.)

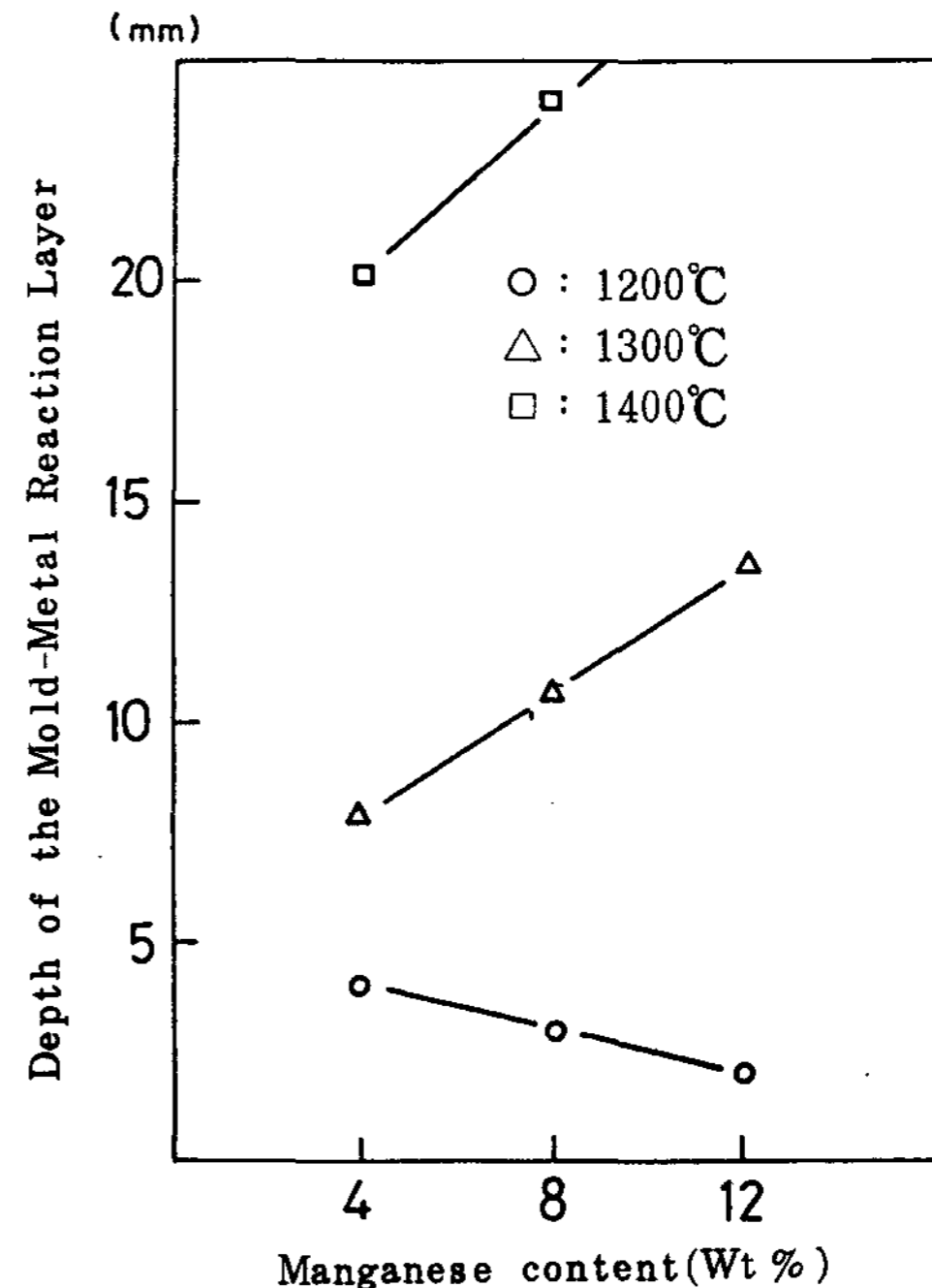


Fig.6 Depth of the Mold-Metal reaction layer vs. manganese content in Mn steel castings at various temperatures. (Reaction time; 60 min.)

에 따른 반응층 깊이와의 관계를 Fig.4에 나타냈다.

반응시간이 증가함에 따라 반응층 깊이는 증가하였으며, 특히 1,400°C의 경우에는 반응시간이 비교적 짧은 20분정도에서도 상당한 깊이까지 반응이 진행되어서 Photo.1에 나타난 것과 같이 화학적소착과 함께 주형벽은 상당히 침식되어 있었다.

반응층 깊이에 미치는 온도와 Mn 함량과의 관계를 Fig.5와 Fig.6에 나타냈다. Fig.5에서와 같이 온도가 올라감에 따라서 각 조성에서의 반응층 깊이는 증가하였으며 어느 조성에서도 1,300°C 이상으로 되면 반응은 매우 급격히 일어났다. 반응을 60분으로 하였을 경우 Mn 4%의 경우 1,200°C와 1,300°C에서는 반응이 점차적으로 증가하였으며 1,300°C 이상에서는 매우 급진적으로 일어났다. Mn 8%와 Mn 12%의 경우에는 온도가 1,200°C 이상으로 되면 반응은 급격하게 일어났다. Fig.6에서 살펴보면 1,300°C와 1,400°C에서는 Mn 함량이 증가함에 따라 반응

층 깊이는 증가하였으며 각 온도에서의 반응층 깊이의 증가폭은 상당히 컸다. 1,200℃의 경우 Mn 함량이 증가함에 따라 반응층 깊이는, 그 차이는 작았지만, 감소하는 경향을 나타냈다.

3-2-2 주형반응에 미치는 Cr의 영향

반응층 깊이에 미치는 시간과 온도의 변화를 Fig. 7에 나타냈다. Fig.7에서 나타난 바와 같이 시간이 경과함에 따라 반응층 깊이는 증가하는 경향을 나타

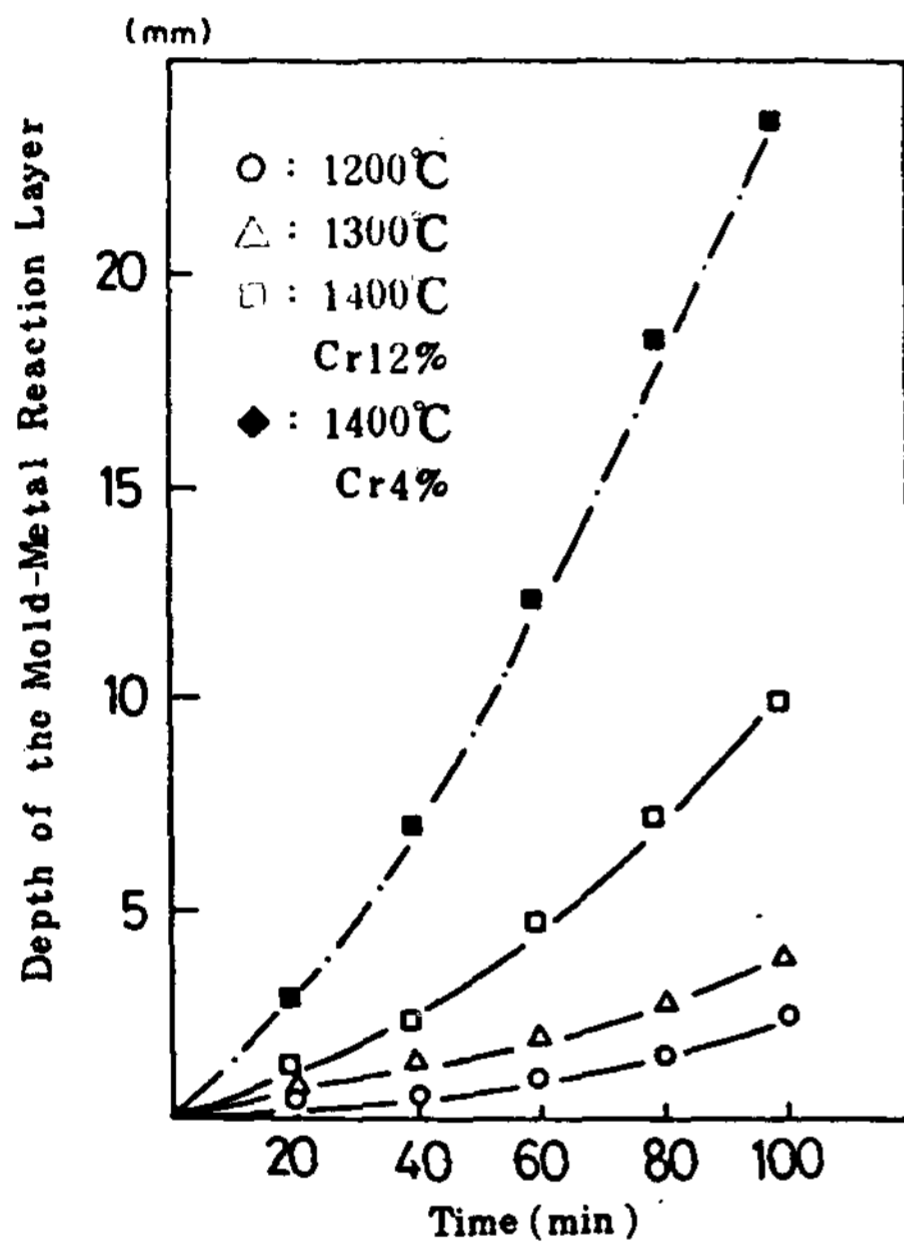


Fig.7 Depth of the Mold-Metal reaction layer vs. reaction time in Cr steel castings at various reaction temperatures.

내고 있었다. 1,200℃와 1,300℃의 경우 40분 이내에서는 반응은 매우 천천히 일어나고 있었으며, 20분 정도에서 그 반응은 상당히 느리게 나타났다. 반응시간이 60분인 경우에 반응층 깊이에 미치는 온도와 Cr 함량과의 관계를 Fig.8, Fig.9에 나타냈다. 각각의 조성에서 온도가 증가함에 따라 반응층 깊이는 증가하는 경향을 보이고 있었다. Cr 12%인 경우 1,200℃와 1,300℃에서는 반응은 매우 느리게 일어나고 있었으며 Cr 8%와 4%의 경우에는 반응은 점증적으로 일어나고 있었다.

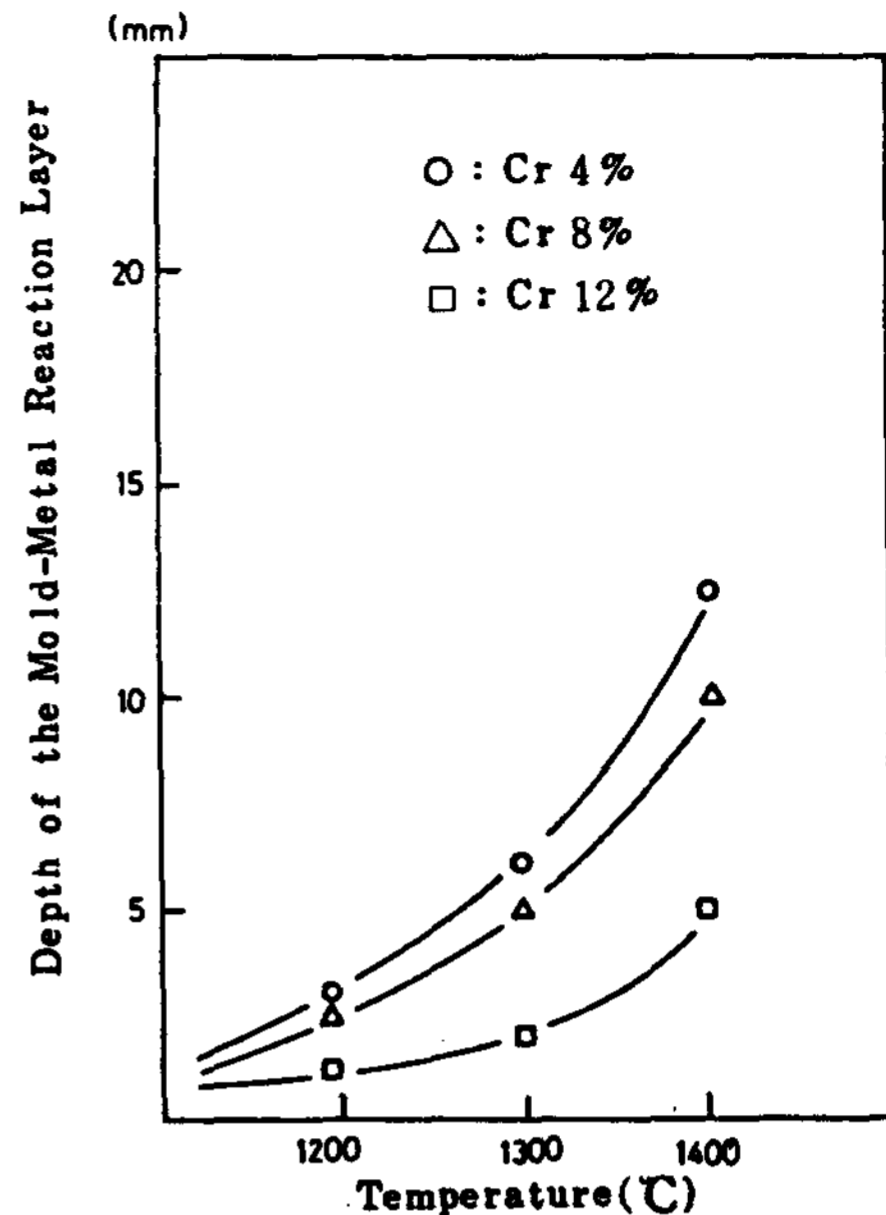


Fig.8 Depth of the Mold-Metal reaction layer vs. reaction temperature in Cr steel casting at various chromium contents. (Reaction time; 60min.)

한편 Cr 함량이 증가하게 되면 반응층 깊이는 감소하는 경향을 나타내고 있었는데 1,400℃의 경우 그 차이는 매우 컸다. 이상의 경우에는 Fig.4,5,6,7,8,9를 기초로 하여 반응온도가 1,400℃이고 반응시간이 60분인 경우 반응층 깊이에 미치는 Mn 함량과 Cr 함량과의 관계를 Fig.10에 나타냈다.

Mn 강의 경우에는 Mn 함량이 증가함에 따라 반응층 깊이는 증가하는 경향을 나타내고 있었으며, Mn 함량이 비교적 적은 Mn 4%의 경우에도 그 반응은 상당히 일어났다. Cr 강의 경우에는 Cr 함량이 증가함에 따라 반응층 깊이는 감소하는 경향을 나타내고 있었으며 Cr 12%의 경우에는 Cr 4%와 Cr 8%의 경우를 비교해 볼 때 반응층 두께의 감소폭은 더욱 컸다.

이상에서 보면 Mn 량이 증가함에 따라 반응층 깊이는 증가하였고 Cr 량이 많아짐에 따라 반응층 깊이는 감소하였다.

문헌^{14,17}에 의하면 Fe와 Mn, Cr의 산소 친화력은 같은 온도에 있어서 Mn, Cr, Fe의 순으로 나

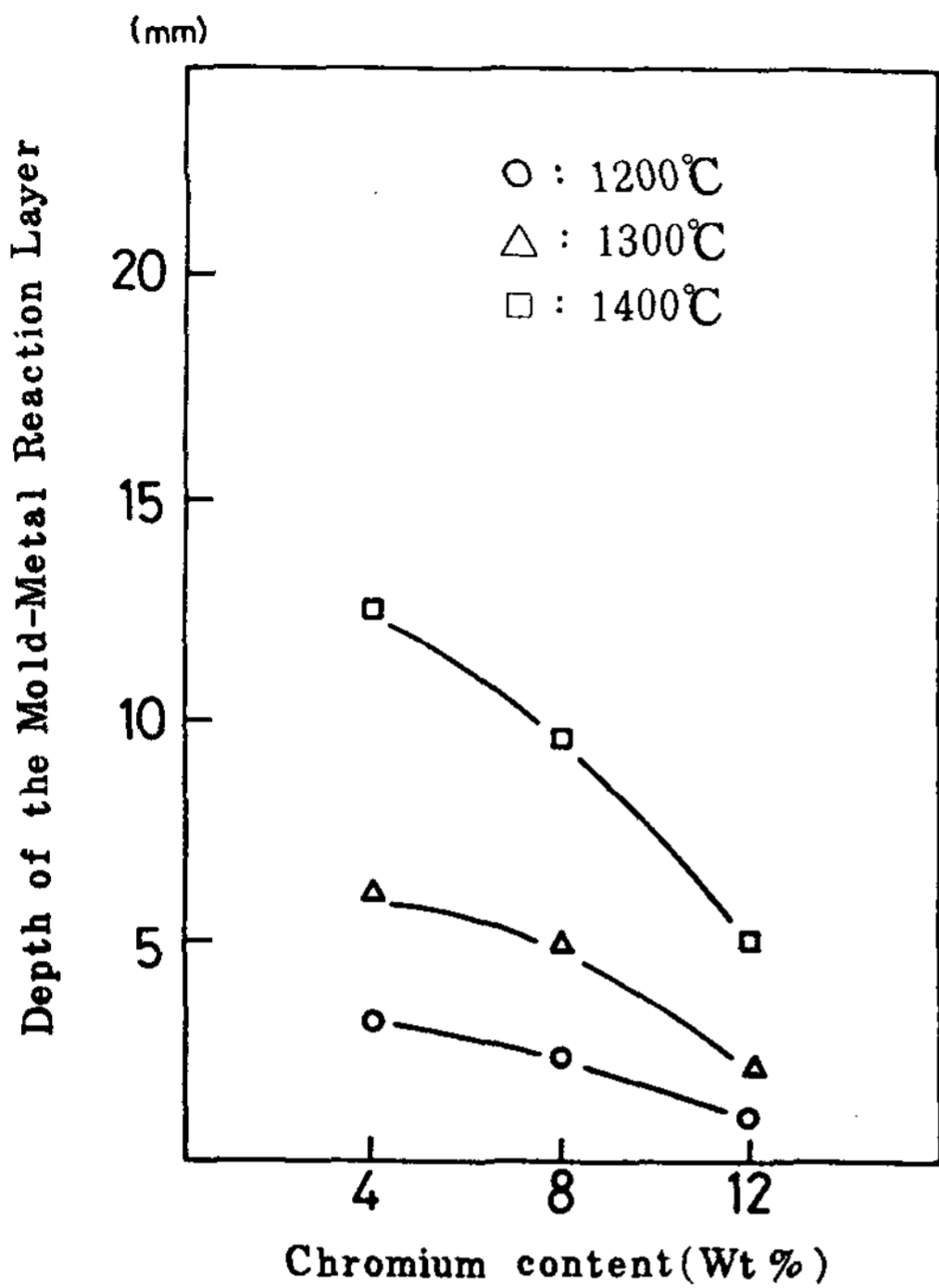


Fig.9 Depth of the Mold-Metal reaction layer vs. chromium content in Cr steel castings at various reaction temperatures, (Reaction time: 60 min.)

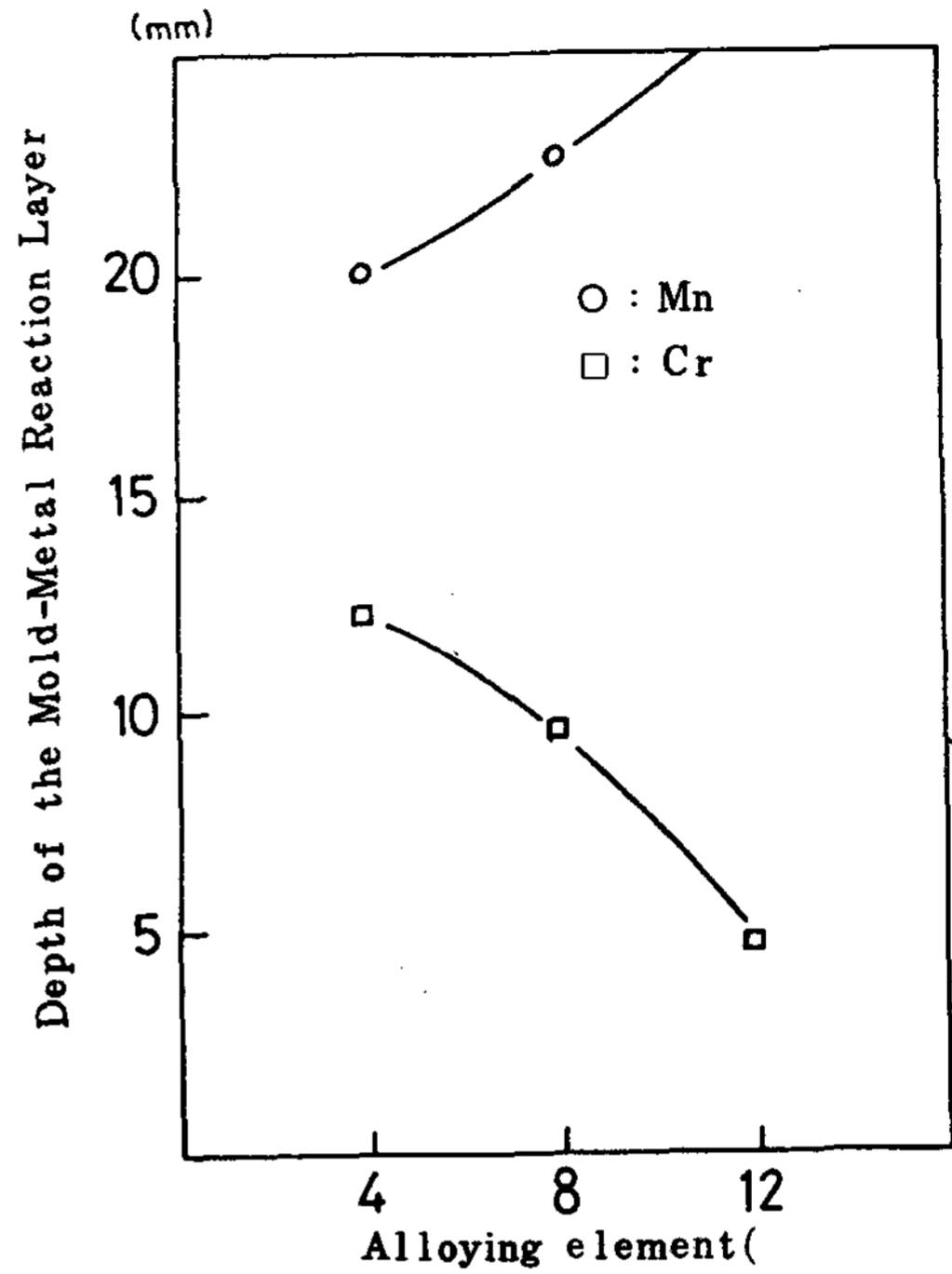


Fig.10 Depth of the Mold-Metal reaction layer vs. weight percent of chromium and manganese. (Reaction temperature; 1400°C, Reaction time; 60 min.)

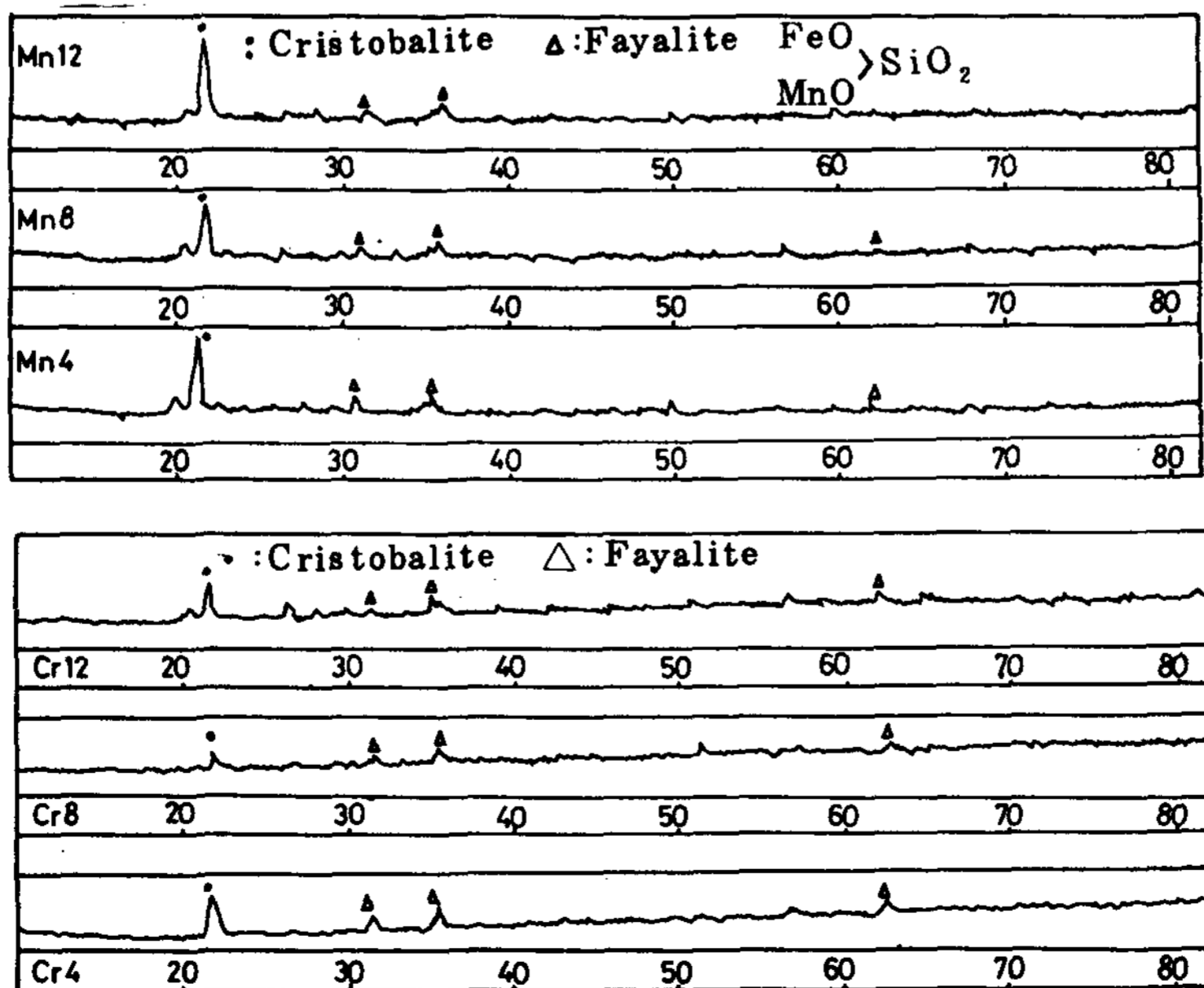


Fig.11 X-ray diffraction patterns of Mold Metal reaction products.

타나고 있으며 또한 $FeO \cdot SiO_2$ 와 $MnO \cdot SiO_2$ 의 상태를 살펴보면 $MnO \cdot SiO_2$ 의 융점은 $1,200^\circ C$ 정도이고 $FeO \cdot SiO_2$ 의 융점은 $1,170^\circ C$ 정도이다.

이상의 점을 고려해 볼 때 Mn은 Fe보다 주형표면에서 우선적으로 MnO를 형성하게 되고 이것은 FeO와 같은 염기성 물질이기 때문에 쉽게 SiO_2 와 반응하게 되어서 $MnO \cdot SiO_2$ 또는 $2 MnO \cdot SiO_2$ 의 저융점규산염을 만들게 된다.

또한 $MnO \cdot SiO_2$ 는 $FeO \cdot SiO_2$ 보다 융점은 다소 높으나 거의 같은 정도이어서 $FeO \cdot SiO_2$ 와 같은 작용을 하기 때문에 반응은 매우 심하게 일어나는 것으로 사려된다.

한편 Cr의 경우도 Fe와 비교하여 산소친화력이 크기 때문에 주형표면에서 우선적으로 Cr_2O_3 를 형성하게 되고 이때 생성된 Cr_2O_3 는 상당히 안정한 산화물로서 강표면에 산화피막을 이루어 FeO가 SiO_2 와 반응하는 것을 억제하기 때문에 $FeO \cdot SiO_2$ 의 생성이 줄어들게 된다. 따라서 반응은 덜 일어나는 것이라고 사려된다.

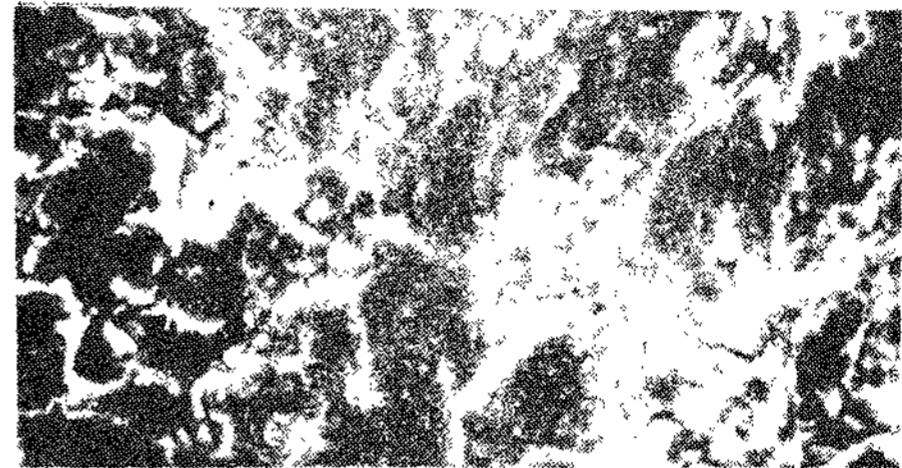
Cr_2O_3 와 SiO_2 와의 반응을 고려해 볼 때 $Cr_2O_3 \cdot SiO_2$ 의 평형상태도에서 그 융점은 $1,740^\circ C$ 정도이고 EPMA의 분석결과 반응층내의 반응생성물중 Cr의 성분은 아주 미미하게 나타났으며 X-ray 분석결과 반응생성물중 $Cr_2O_3 \cdot SiO_2$ 의 화합물이 보이지 않는 점으로 보아서 $1,400^\circ C$ 정도의 온도에서는 반응하지 않고 강표면의 산화물중에 크롬산화물로 남게 되는 것이라고 사려된다.

3-3 X-ray 회절에 의한 반응생성물의 검토

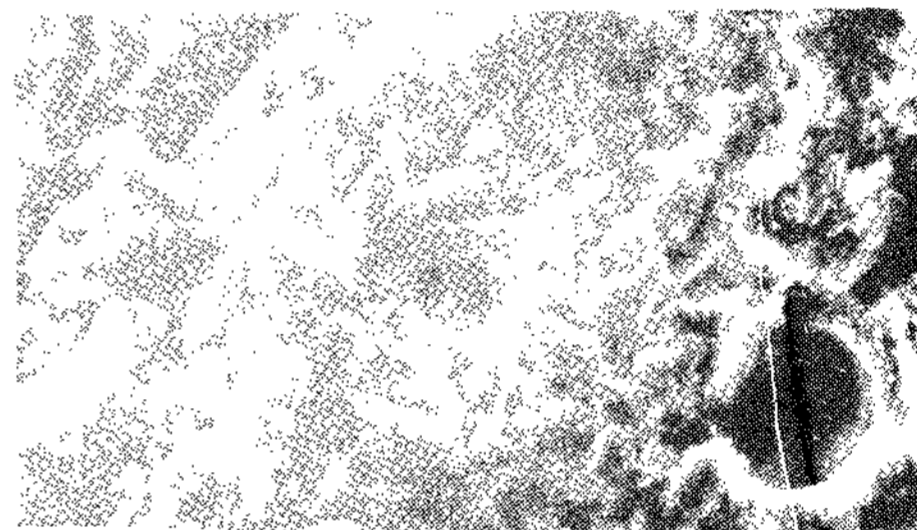
반응층중에 들어있는 반응생성물을 알아보기 위하여 X-ray 회절을 행하였으며, 그 결과는 Fig.11에 나타냈다.

각 조성(Cr 12%, Cr 8%, Cr 4%, Mn 12%, Mn 8%, Mn 4%)에서 반응생성물을 살펴보면 대부분 cristobalite와 fayalite로 이루어져 있었으며 그의 별다른 반응생성물은 보이지 않았다. 특히 Mn 12%의 경우에서 $FeO \cdot SiO_2$ 또는 $MnO \cdot SiO_2$ 로 보이는 생성물이 검출되었다.

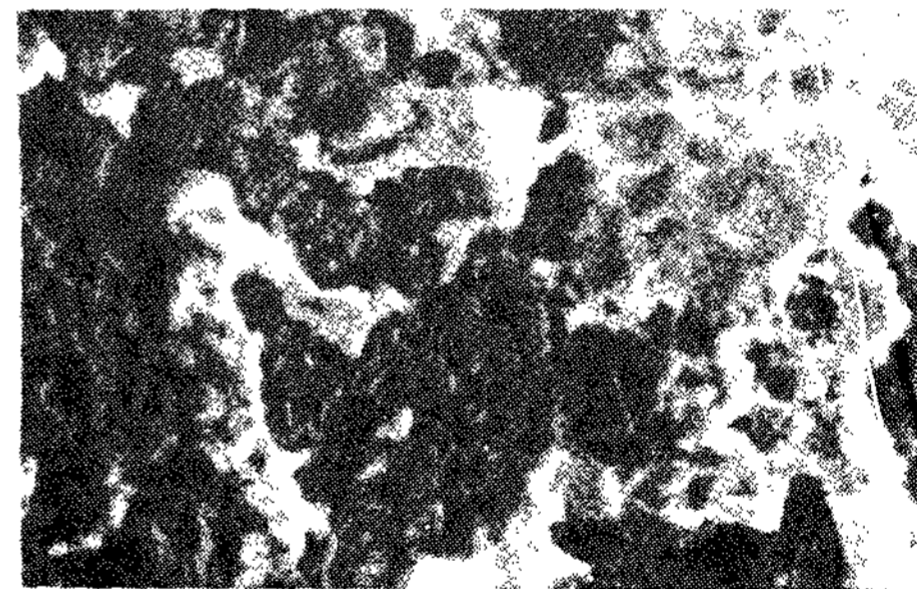
3-4 전자주사현미경에 의한 반응생성물의 조직관찰 각 조성에서 반응생성물을 SEM을 이용하여 조사하였으며, 그 결과는 Photo.2와 Photo.3에 나타냈다.



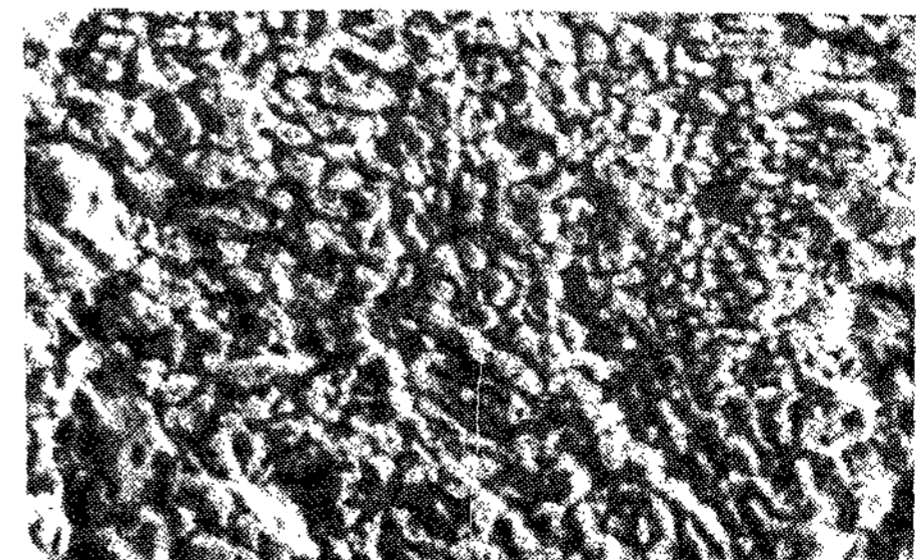
Mn 4%



Mn 12%

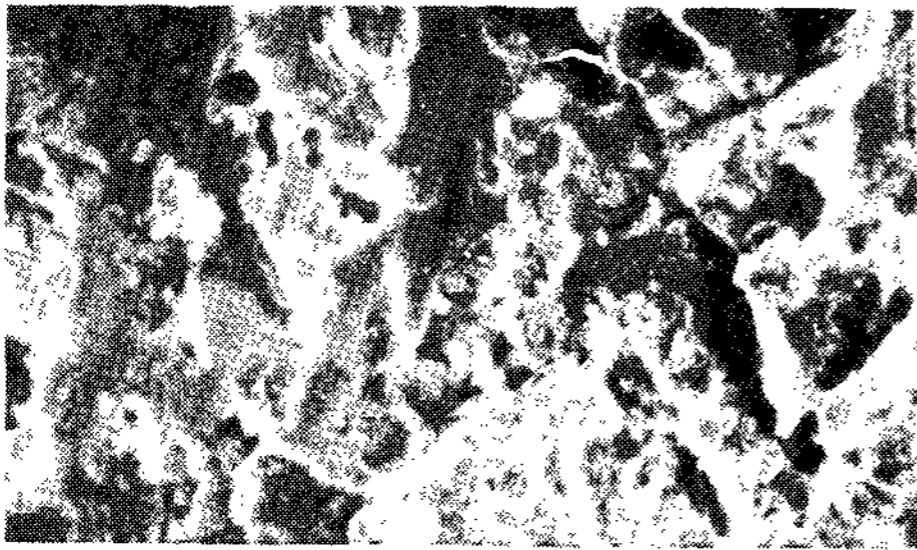


Cr 4%

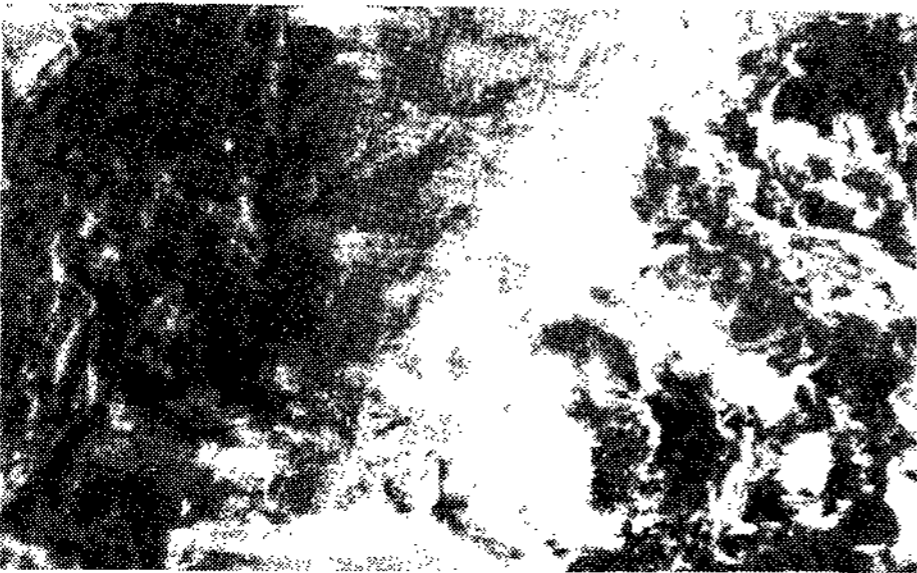


Cr 12%

Photo.2 SEM photograph of Mold-Metal reaction products. (Reaction temperature; $1400^\circ C$, $\times 400$)



Mn 4%



Mn 12%

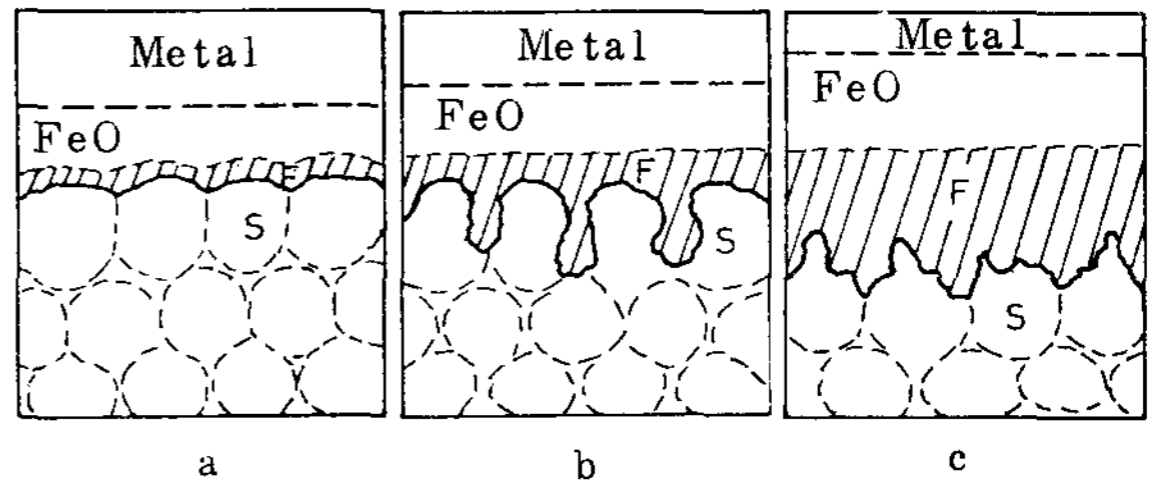
Photo.3 SEM photograph of Mold-Metal reaction products.
(Reaction temperature:1200°C, ×400)Si

Photo.2에서 나타낸 것은 1,400 °C에서 60분간 반응시킨 시편의 반응층내의 반응생성물을 나타낸 것으로 Mn 4 %와 Mn 12 %의 경우 그 조직은 심한 凸凹형상을 하고 있었으며 대체로 그 경향은 비슷하였다. 이것은 X-ray 회절 결과와 EPMA에 의한 성분 검사를 토대로 하여 검토하여 보면 저융점규산염인 FeO·SiO₂의 생성과 MnO·SiO₂의 생성에 의하여 SiO₂ 주위가 심하게 반응하여 주변 부분이 녹아내린 듯한 형상을 하고 있었으며 희게 보이는 부분이 SiO₂가 변태한 cristobalite라고 사려되며, 검게 보이는 부분은 FeO·SiO₂나 MnO·SiO₂의 반응생성물이라고 사려된다. Cr 4 %와 Cr 12 %의 경우 Cr 4 %에서의 조직은 Mn 첨가의 경우와 대체적으로 비슷한 경향인 凸凹형상을 하고 있었으나 아직 반응하지 않은 부분(희게 보이는 부분)이 많이 나타나고 있었으며 Cr 12 %의 경우에는 미세한 입자처럼 보이는 것이 전체적으로 나타나고 있었다. 이것은 FeO와 SiO₂와의 반응이 완전히 이루어지지 않았기 때문에 FeO·SiO₂의 생성도 적게 이루어진 것이다. 즉, 이것은

SiO₂의 표면에서부터 조금씩 반응해 들어가기 때문이라고 사려된다.

한편 Photo.3은 1,200 °C에서 60분간 반응시킨 시편의 반응층내의 반응생성물을 나타낸 것으로서 Mn 4 %의 경우 표면은 상당히 심한 凸凹형상을 하고 있었다. 또한 Mn 12 %의 경우 아직 반응하지 않은 부분이 많이 나타나고 있어서 Mn 4 %의 경우보다는 凸凹형상이 적었다.

반응이 진행함에 따라 반응층내의 반응생성물이 변화하는 과정을 도식화해보면 Fig.12와 같이 나타낼 수가 있다.



F: Fayalite S: Sand

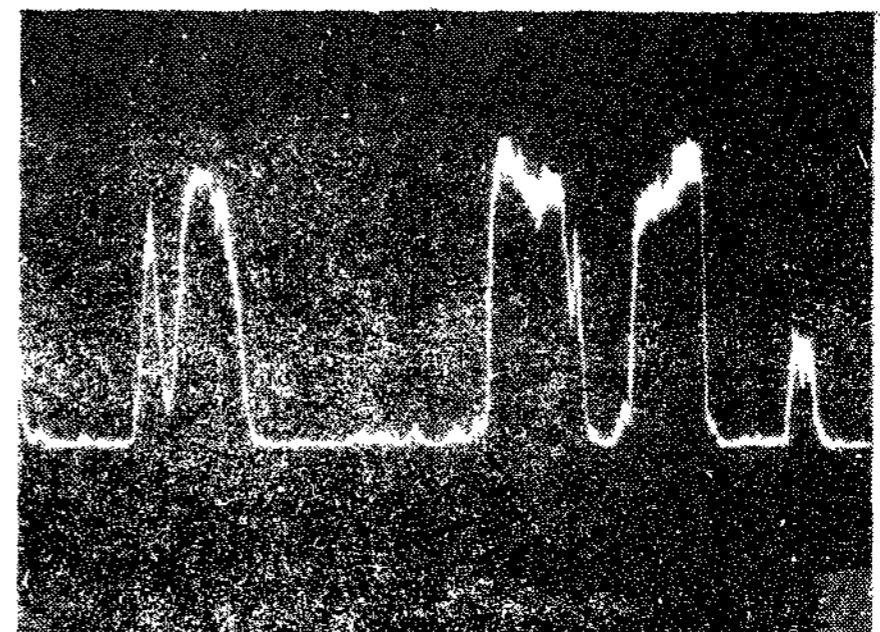
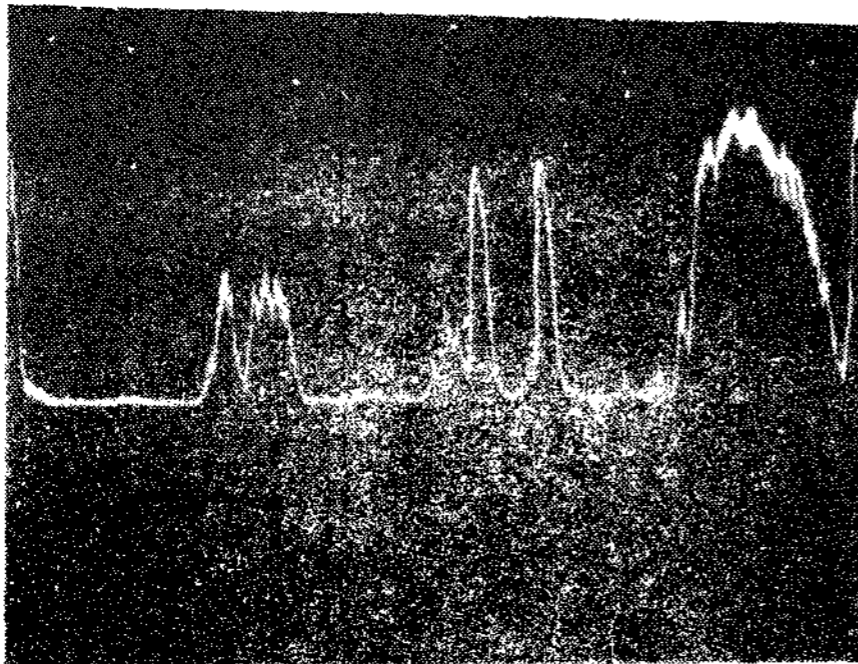
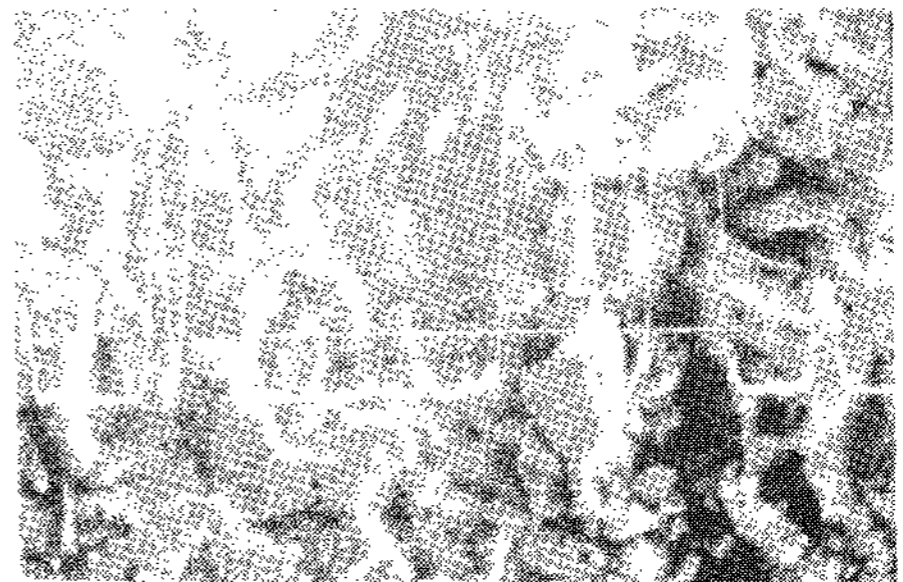
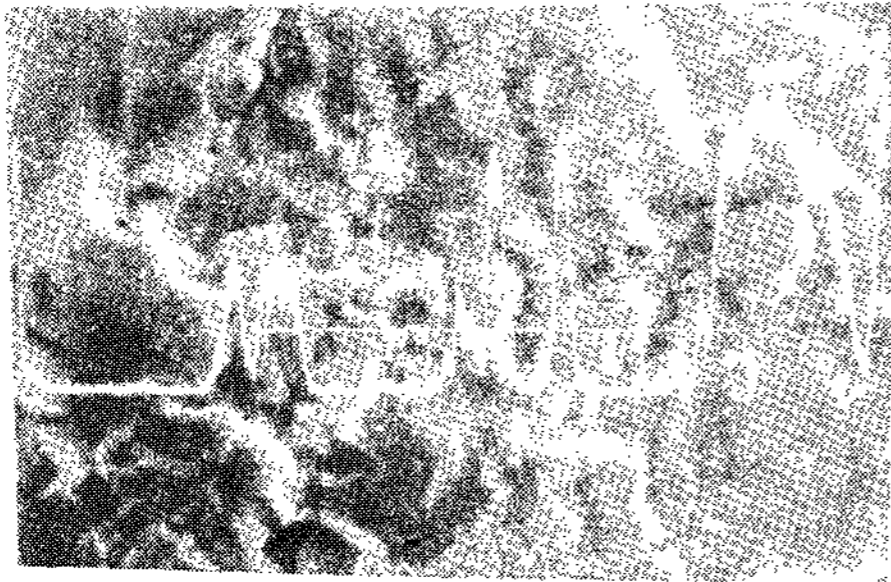
Fig.12 Schematic sketch of Mold-Metal reaction layer

Fig.12에서 보면 a의 경우 FeO 생성이 적기 때문에 FeO와 SiO₂와의 반응이 완전히 일어나지 않아서 1400 °C에서 Cr 12 %의 조직과 같이 표면에서 약간씩 반응이 이루어지게 된다. FeO의 형성과 함께 SiO₂와의 반응이 더욱 진행되는 경우 b.와 같이되며 이것은 1200 °C에서 Mn 4 %의 조직에서와 같이 SiO₂의 주위는 심하게 반응하여 凸凹형상으로 깎이게 된다. 반응이 더욱 진행되어 fayalite(FeO·SiO₂)의 생성이 계속 이루어지게 되면 c.의 경우와 같이 반응초기의 상태처럼 되는데 이것은 b.의 경우에서 아직 반응하지 않은 SiO₂가 FeO와 반응하여 액상 fayalite로 되면서 모두 녹아내리기 때문이라고 사려된다.

3-5. EPMA에 의한 반응생성물의 성분검사

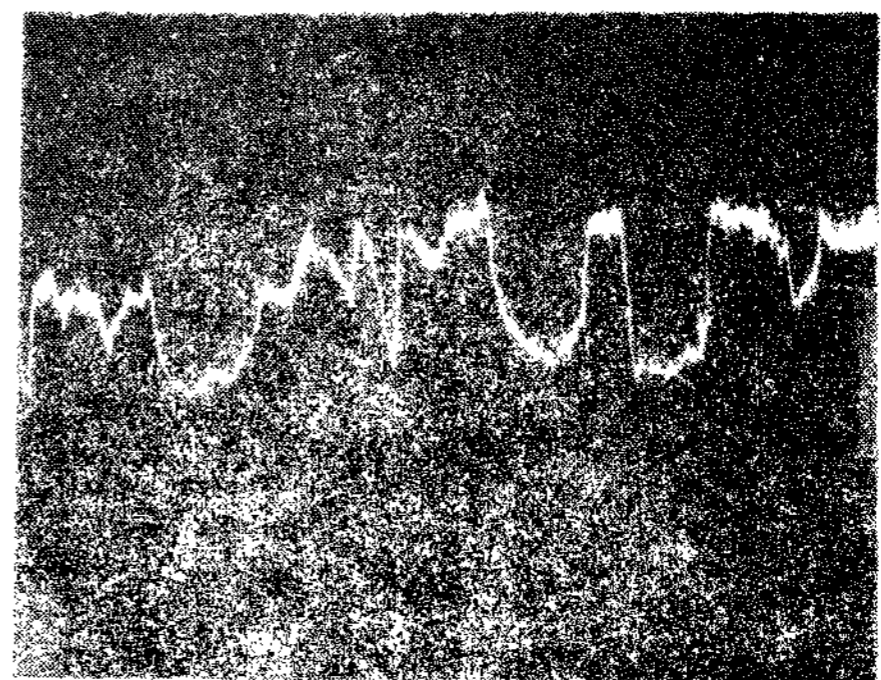
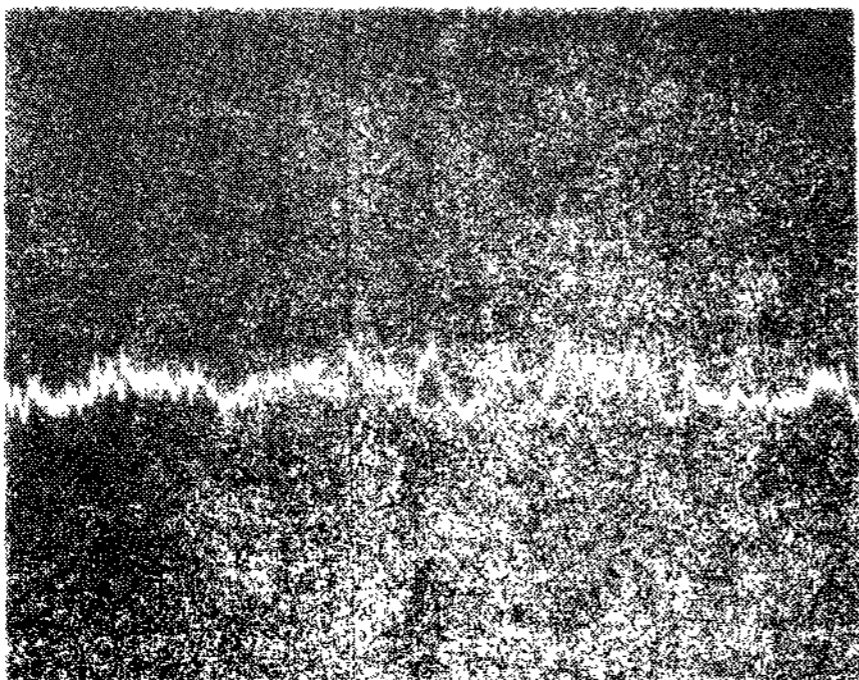
반응층내의 반응생성물중에 들어있는 Si, Fe, Mn, Cr의 거동을 알아보기 위하여 EPMA에 의한 line 분석을 하였다. 그 결과를 photo.4, 5, 6에 나타냈다.

1400 °C에서 60분간 반응시킨 시편중 Mn 4 %와



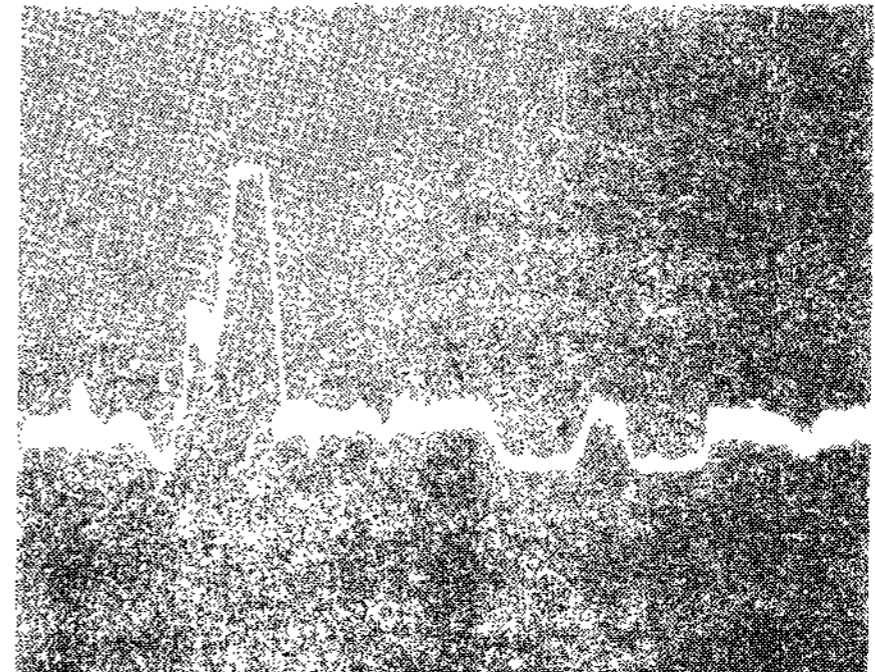
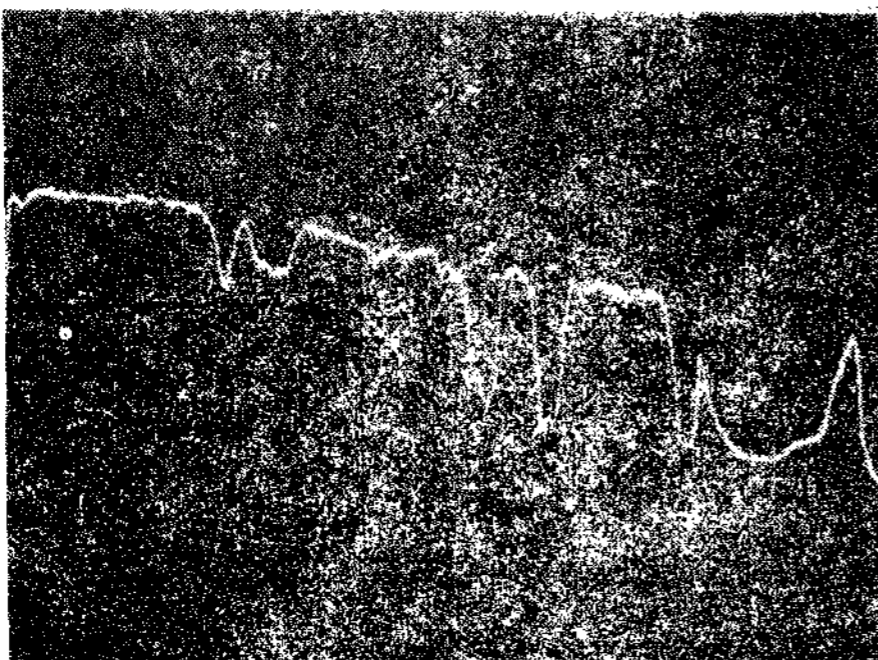
Si

Si



Mn

Mn



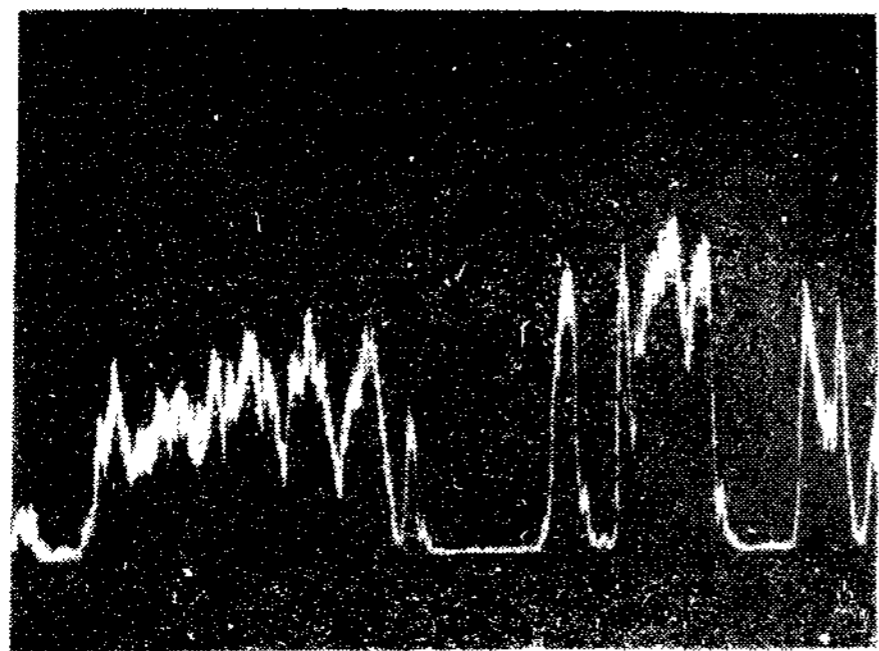
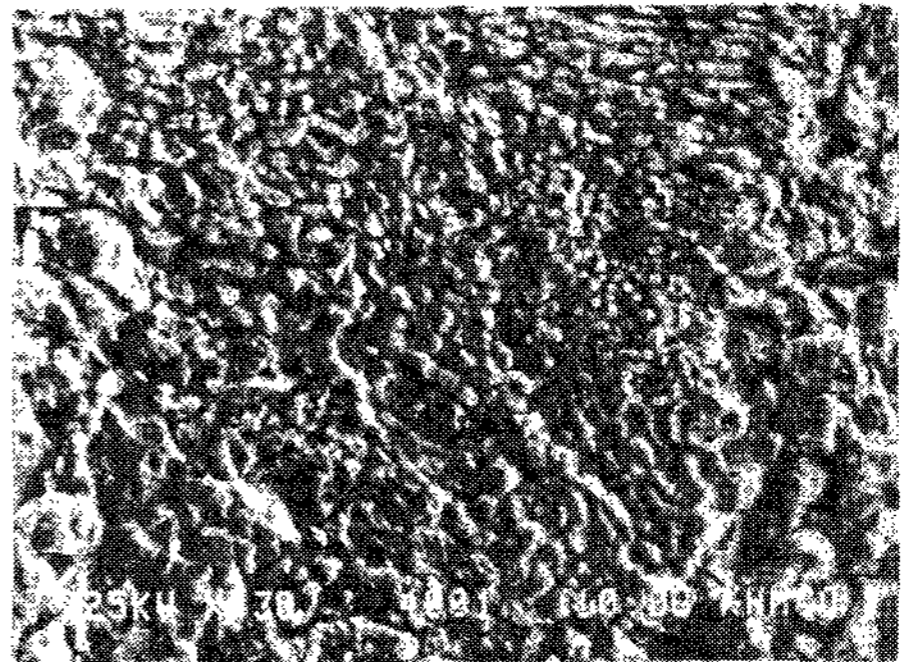
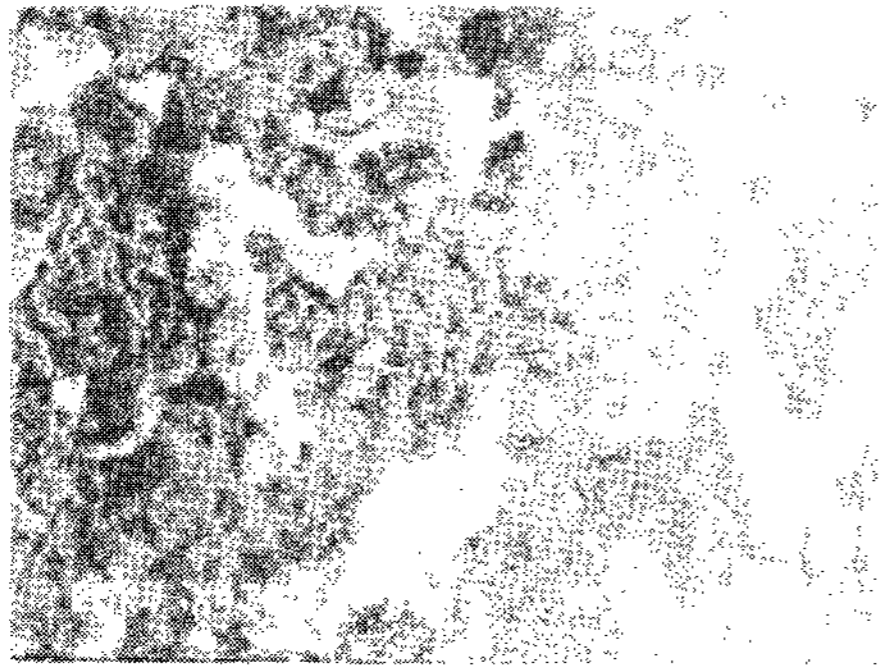
Mn 4%

Fe

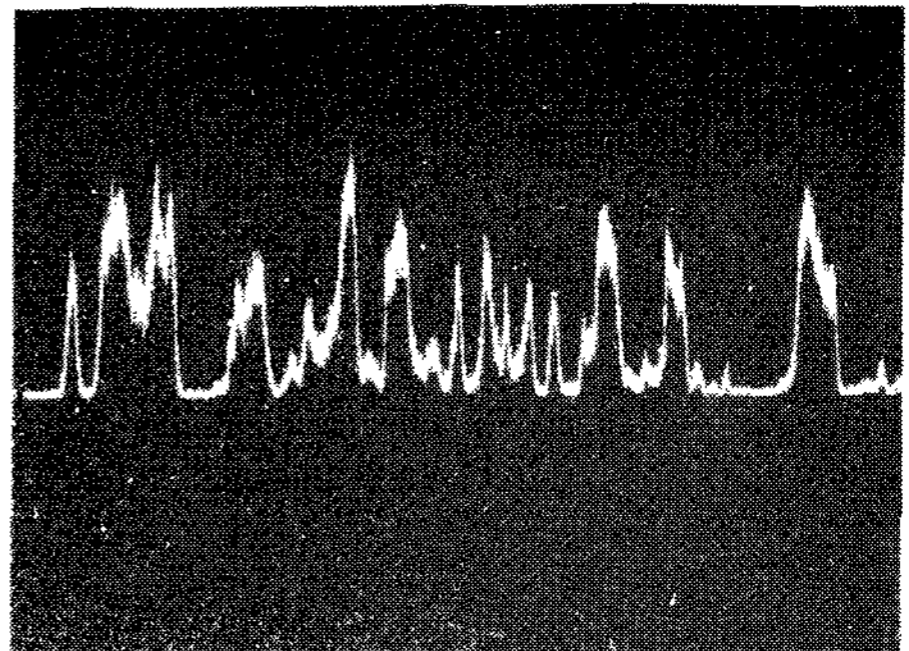
Fe

Mn 12%

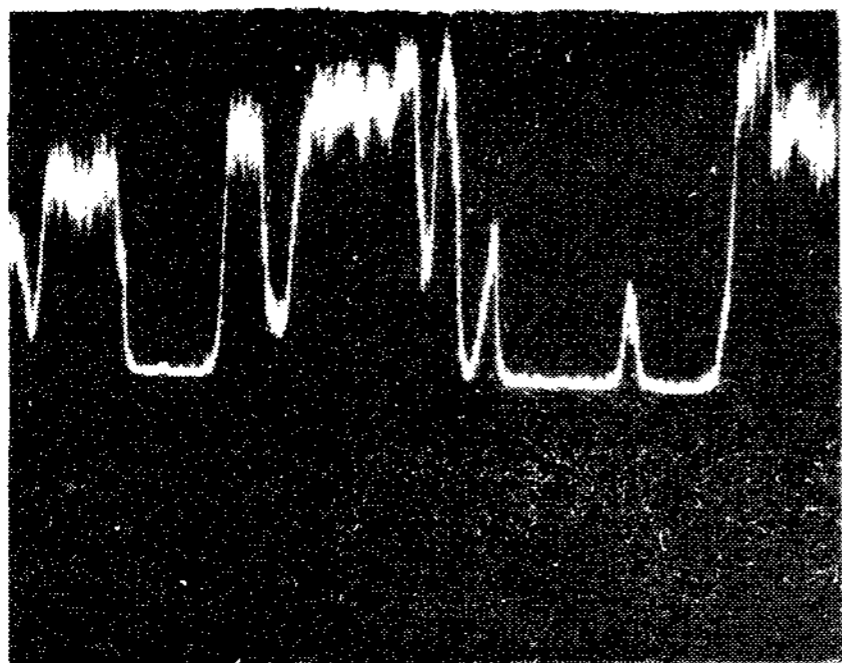
Photo.4 Analyses of EPMA on Mold-Metal reaction products.
(Reaction temperature:1400°C)



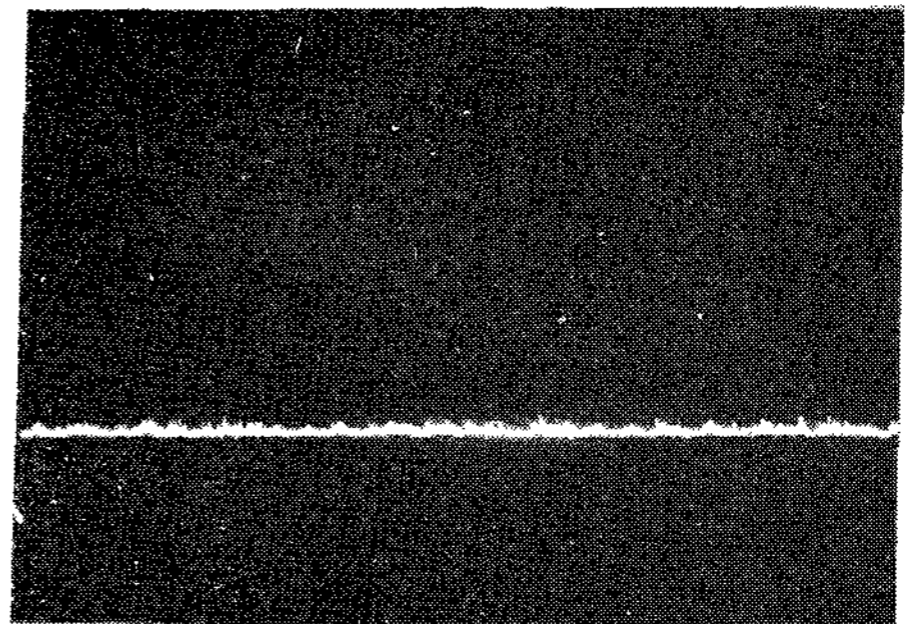
Si



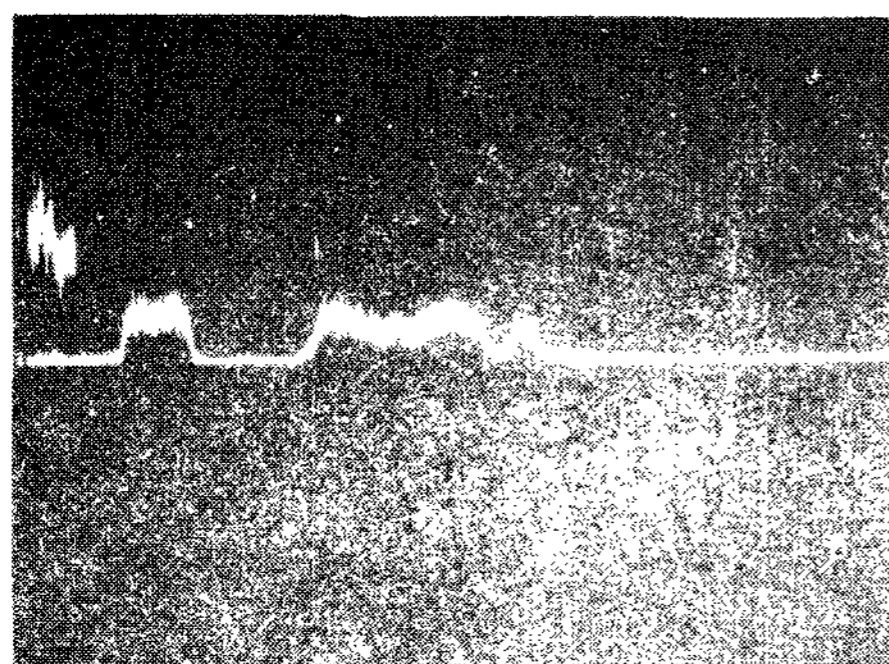
Si



Fe

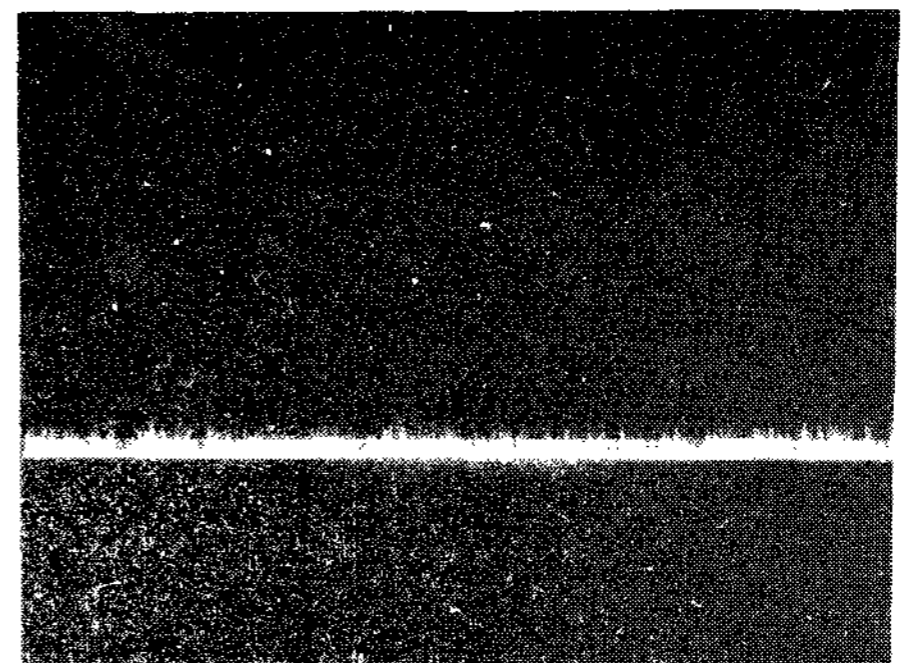


Fe



Mn 4%

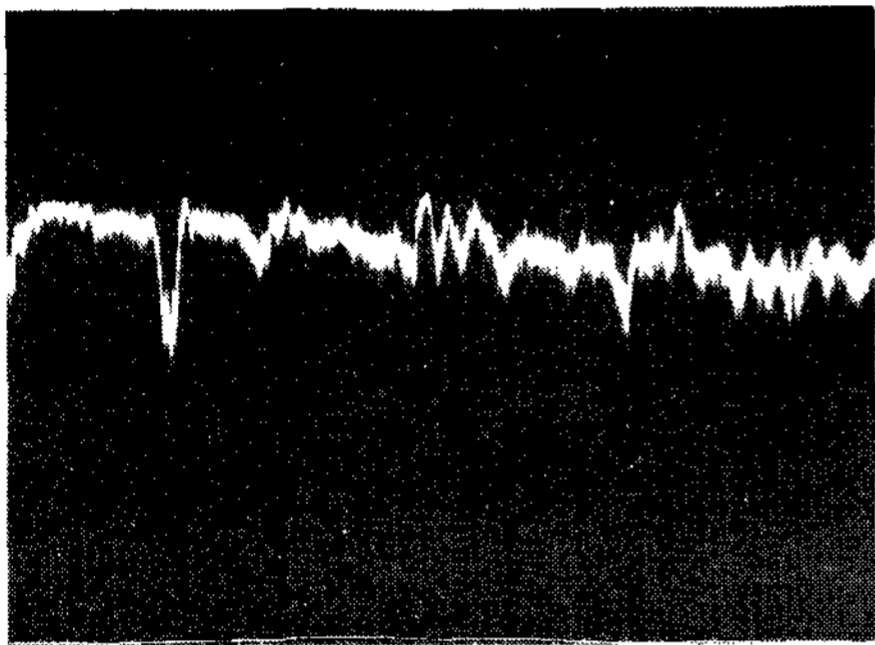
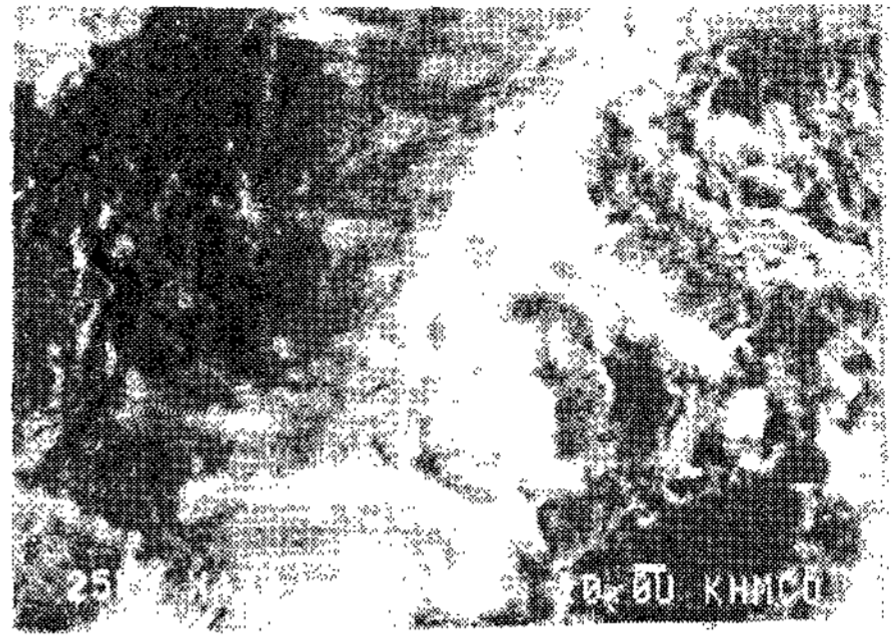
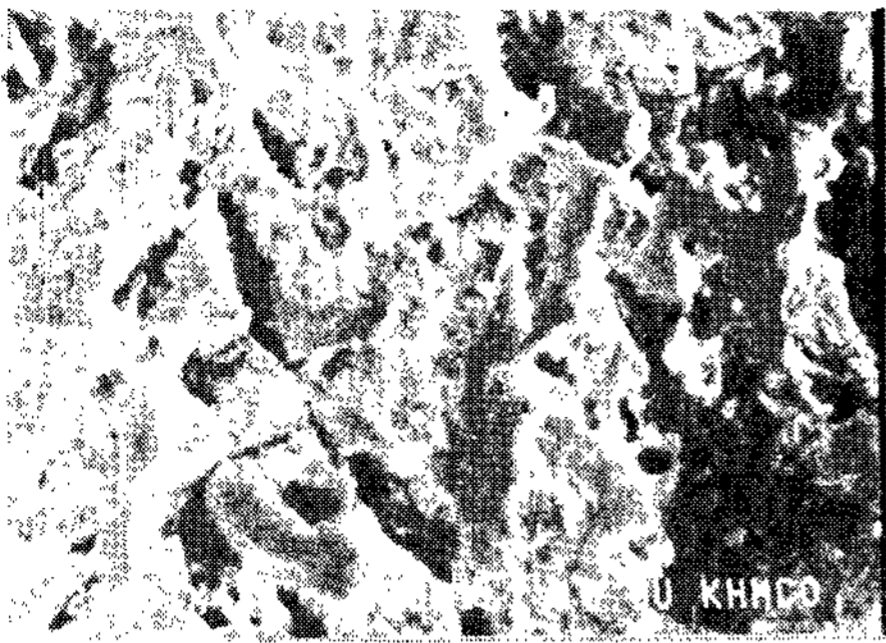
Cr



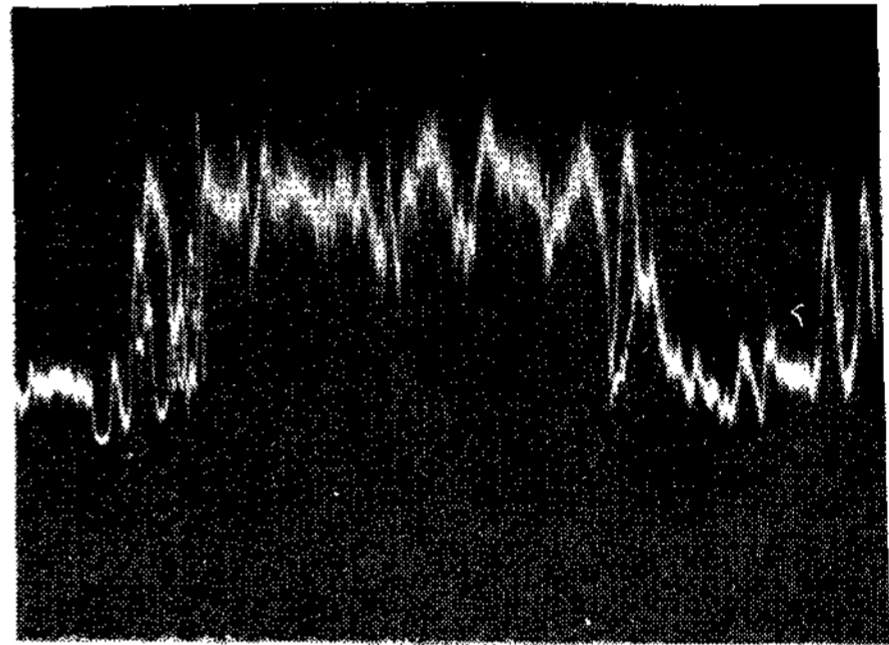
Cr

Mn 12%

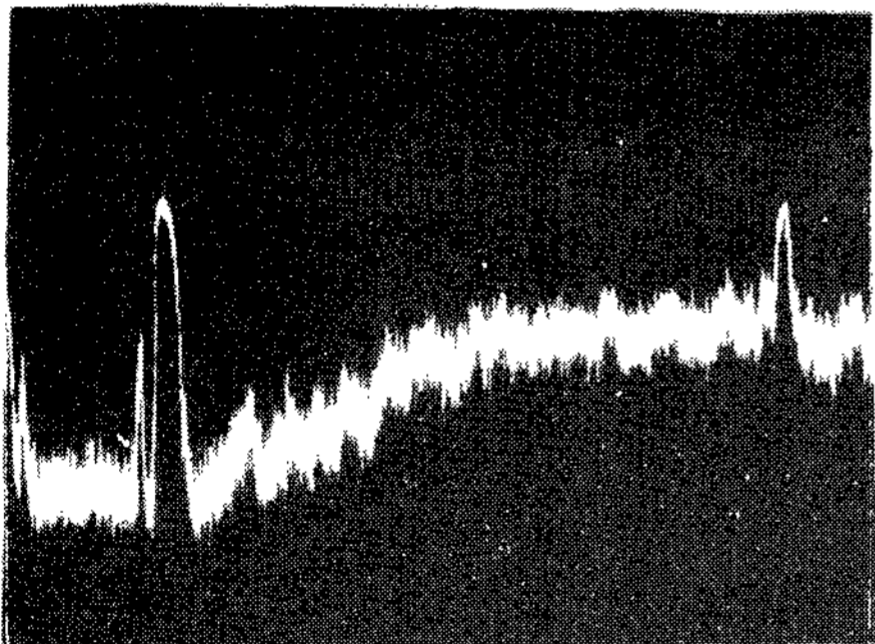
Photo. 5 Analyses of EPMA on Mold-Metal reaction products.
(Reaction temperature: 1400°C)



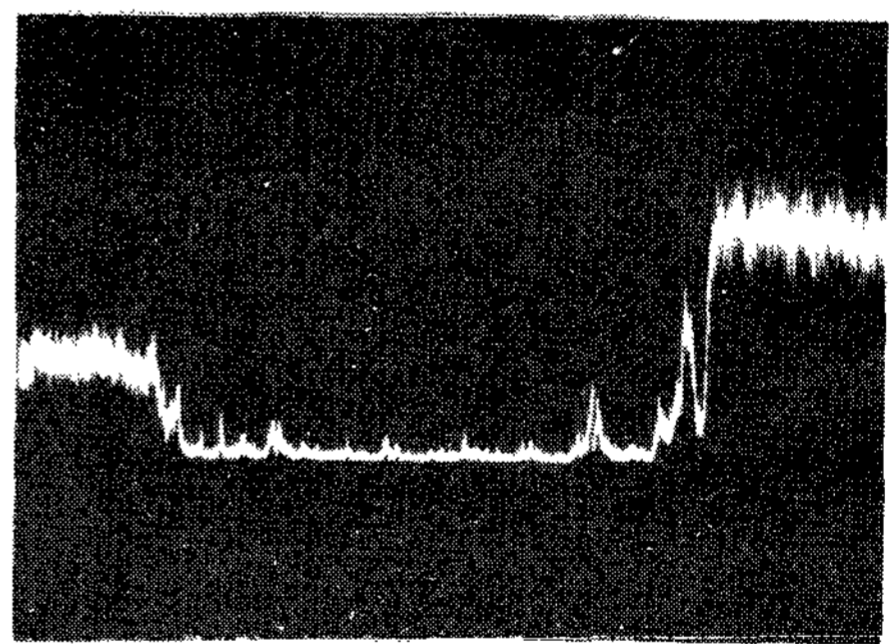
Si



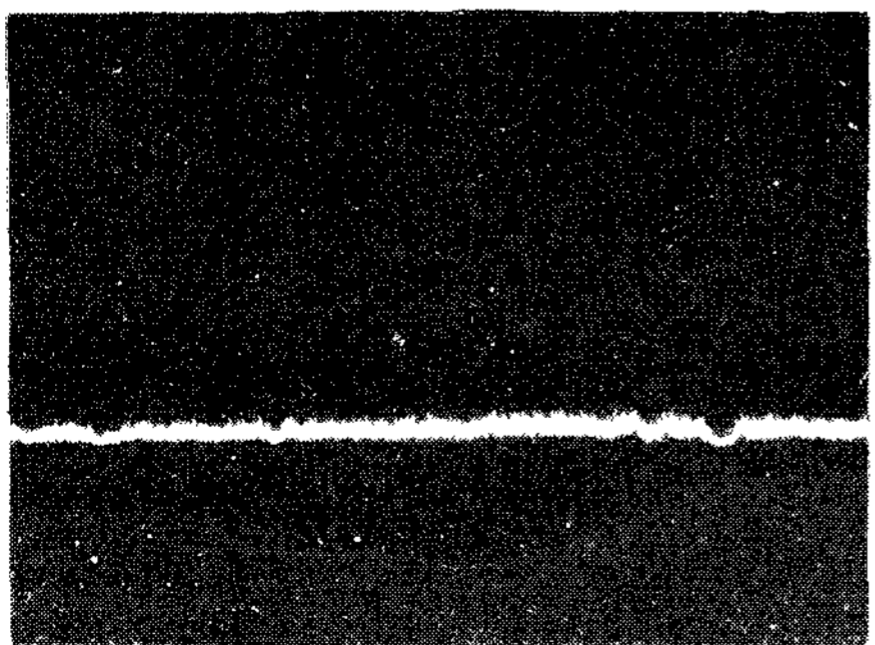
Si



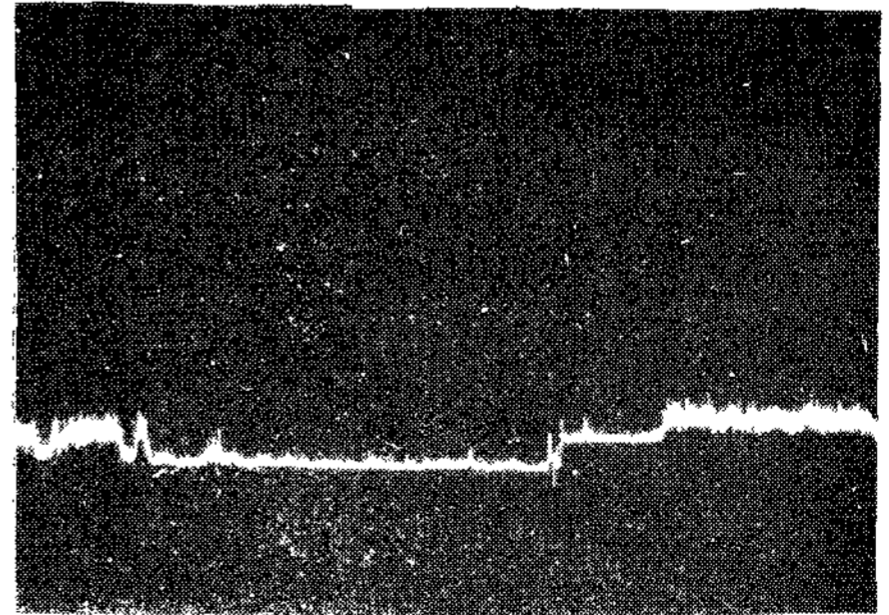
Fe



Fe



Mn 4% Cr



Cr Mn 12%

Photo.6 Analyses of EPMA on Mold-Metal reaction products.
(Reaction temperature:1200°C)

Mn 12%, Cr 4%와 Cr 12%를 첨가한 시편을 선택하였고, 1200°C에서 60분간 반응시킨 시편중 Mn 4%와 Mn 12%를 첨가한 시편을 선택하여 실시하였다.

photo.4의 경우 Mn 4%의 조성에서는 Fe의 성분이 많이 나타나고 있었으며 Mn 성분도 조금은 나타나고 있었다. 이것을 X-ray 회절 결과와 함께 검토하여 보면 MnO·SiO₂의 생성보다는 FeO·SiO₂의 생성이 더 많은 것으로 사려되며 반응은 FeO·SiO₂의 생성으로 인하여 주도되고, 거기에 MnO·SiO₂의 생성도 조금씩 가세하여 반응이 일어난다고 사려된다.

Mn 12% 첨가의 경우에는 Mn 성분이 상당히 많이 보이고 있었으며 Fe 성분도 어느정도 보이고 있었다. 이것을 X-ray 회절 결과와 함께 검토하여 보면 FeO·SiO₂의 생성과 함께 더욱 많은 MnO·SiO₂의 생성으로 인하여 반응은 많이 일어나는 것으로 사려된다.

photo.5의 경우 Cr 4% 첨가시 Fe 성분이 상당히 보이고 있었으나, Cr 12% 첨가의 경우에는 Fe 성분이 거의 보이지 않고 있었다. 이것으로 미루어 볼때 Cr 4%의 경우 FeO·SiO₂가 형성되어서 반응은 상당히 잘 일어나게 되며, Cr 12%의 경우 FeO·SiO₂가 생성되기는 하나 상당히 적게 이루어져서 반응은 적게 일어나게 된다고 사려된다. 이상을 종합해 보면 Mn 량이 증가하면 FeO·SiO₂의 생성과 함께 MnO·SiO₂의 생성도 같이 이루어져서 반응을 심하게 진행되며, Cr 량이 증가함에 따라 Cr은 강표면에 안정한 산화물인 Cr₂O₃의 산화막을 형성하고 이때 생성된 Cr 산화막으로 인하여 FeO와 SiO₂의 반응이 적게 이루어지게 되므로 FeO·SiO₂의 생성도 적게 일어나는 것이라고 사려된다.

photo.6의 경우 Mn 4% 첨가시 Fe의 성분은 Mn 12% 첨가의 경우보다 많이 나타나고 있는데 이는 FeO·SiO₂의 생성이 많이 이루어지기 때문이라고 사려되며 Mn 12% 첨가의 경우 Fe 성분은 Mn 4% 첨가의 경우보다 적어서 FeO·SiO₂의 생성도 적게 이루어지기 때문이라고 사려된다. 또한 1200°C에서는 반응온도가 낮아서 FeO·SiO₂의 생성과 MnO·SiO₂의 생성이 매우 느리게 나타난 것으로 사려된다.

4. 결 론

산화성 분위기하에서 Mn 함량과 Cr 함량의 변화에 따르는 주강에서의 주형반응에 대한 실험결과는 다음과 같다.

1. 주강에서 Mn 량이 증가함에 따라 주형반응은 증가하는 경향을 나타내고 있었으며 Cr 량이 증가함에 따라 주형반응은 감소하는 경향을 나타냈다.

2. 1200°C에서는 Mn 량이 증가함에 따라 그 차이는 작았지만 반응은 감소하는 경향을 나타냈다.

3. Mn은 반응생성물중에서 MnO·SiO₂의 저융점 규산염을 형성하여 반응을 증가시키며, Cr은 안정한 산화물인 Cr₂O₃를 형성하여 강표면에 산화막을 이루게 되어 FeO와 SiO₂와의 반응을 막기 때문에 FeO·SiO₂의 형성을 감소시키는 작용을 한다고 사려된다.

참 고 문 헌

- 1) Holger Petterson: A.F.S. trans 35(1951) 59.
- 2) A.E. Murton: A.F.S. trans (1958) 1
- 3) J.M. Svoboda: A.F.S. trans (1974) 281.
- 4) J.J. Frawley: A.F.S. trans (1974) 130.
- 5) R.L. Naro: A.F.S. trans (1967) 741.
- 6) M.J. Granlund A.F.S. trans(1980) 109.
- 7) G.A. Colligan: A.F.S. trans (1958) 452.
- 8) G.A. Colligan: Modern Casting(1961)104.
- 9) 木 下 등: 鑄物 12 (1968) 37.
- 10) 中 山 등 鑄物 vol.46. No.10 (1974) 15.
- 11) 前 川 등 鑄物 vol.43.No.8 (1971) 23.
- 12) K. Suzuk A.F.S. trans (1976) 183.
- 13) C.G. Wagner A.F.S. trans (1979) 573.
- 14) H.W. Dietert A.F.S. trans (1970) 145.
- 15) 佐 藤 등 鑄物 vol.29 No.6 (1957) 439.
- 16) 日刊工業新聞社(日本) 普通鑄型 (1980) 128.
- 17) D.R. Gaskell: Introduction to metallurgical thermodynamics (1973) 269.