

# 세라믹 주형법

이 경 환

## 1. 서 언

금속을 용해하여 주형에 주입, 성형하는 주조기술은 청동기 문화의 전개와 함께 시작된 아주 오래된 기술이다.

문명의 발달과 더불어 보다 정밀하고 기능성있는 주물에 대한 요구가 점점하게 되고 이러한 요구는 합금 및 용해기술, 조형기술 등 주변기술의 발달에 힘입어 점진적으로 달성되어 왔다.

그러다가 2차대전 중 병기류와 같은 고정밀도 부품의 대량생산 기술로서 크로닝법(Croning Process=shell mold Process), 인베스트먼트법(Investment Casting Process)등이 발명됨에 따라 소위 정밀주조법이란 주조품의 칫수 고도화에 대한 새로운 장이 열리게 되고 이는 쇼우법(Shaw Process)등 정밀주조품의 대형화, 저가격화를 위한 기술 및 주조조직 제어에 의한 품질고도화 기술개발로 이어지고 있다.

쇼우법은 세라믹 주형법의 일종으로 1950년대 초 영국의 Noel Shaw 및 Clifford Shaw형제가 고대 로마 유적의 복제를 위해 개발한 기술이다. 세라믹 주형법은 인베스트먼트법에 비해 대형주물의 제작이 가능하므로 오늘날 금형류의 제작에 널리 이용되고 있으며 또한 주조조직의 특성을 살려 대형공구류의 제작기술로도 그 적용가능성이 인정되고 있다.

본 기술자료에서는 이러한 세라믹 주형법에 대해 그 특징과 공정기술에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 세라믹 주형법의 특징

세라믹 주형법이란 소성주형을 총칭하는 말로 넓은 의미로는 인베스트먼트법, 석고주형법 등을 포

함하지만 모형을 반복사용하는 분활주형이어서 인베스트먼트법에 비해 대형주물의 제작이 가능한 점, 고급내화물을 주형재료로 사용함으로써 철계주물의 제작이 가능한 점등의 이유로 이들과는 구별하여 사용되고 있다.

주형을 소성처리하면 용탕의 주입시 주형으로 부터 발생하는 가스의 영향을 없앨 수 있다.

이렇게 함으로서 주형용 골재로 미립의 내화물을 다량으로 사용할 수 있어 표면정도가 극히 양호한 주물의 제작이 가능하다. 표면조도  $10\mu$  이하, 경우에 따라서는  $6\sim 8\mu$  정도의 주조품이 용이하게 얻어질 수 있다.<sup>(1)</sup>

또한 소성 후 주형이 적당히 가열된 상태에서 주입함으로써 건전한 조직의 주물을 얻기가 용이하다.

널리 알려진 세라믹 주형법에는 쇼우법, 유니캐스트법(Unicast Process), 씨엠법(CM Process)등이 있는데 이들 주형법은 내화물과 점결제를 슬러리 상태로 혼합하여 모형 위에 유입성형함으로써 모형의 미세한 부분까지 정밀하게 복사할 수 있고 슬러리가 응고한 직후는 주형이 탄력성을 가져 모형의 형발이 용이하고 각각의 특징적 방법에 의해 주형의 칫수를 안정화시킴으로서 칫수정도가 양호한 주물을 제작할 수 있는 등의 특징이 있다. 주방칫수 1000mm이내에서 주철의 경우는  $\pm 2/1000$ , 주강의 경우는  $\pm 3/1000$ 이내의 칫수공차를 갖는 주물을 용이하게 제조할 수 있다.<sup>(2-4)</sup>

이와 같은 세라믹 주형법은 형상이 복잡하여 가공공수가 많이 드는 제품, 재질상 가공이 어려운 제품들의 주조기술로 적용될 때 납기단축, 소재 및 원가절감은 물론 기계가공 등의 방법으로는 성형이 불가능한 제품의 제조기술로서 효과를 거둘 수 있다.

대표적 세라믹 주형법의 공정도를 그림 1에 나타내었다.

한국기계연구소 기업기술지원센터

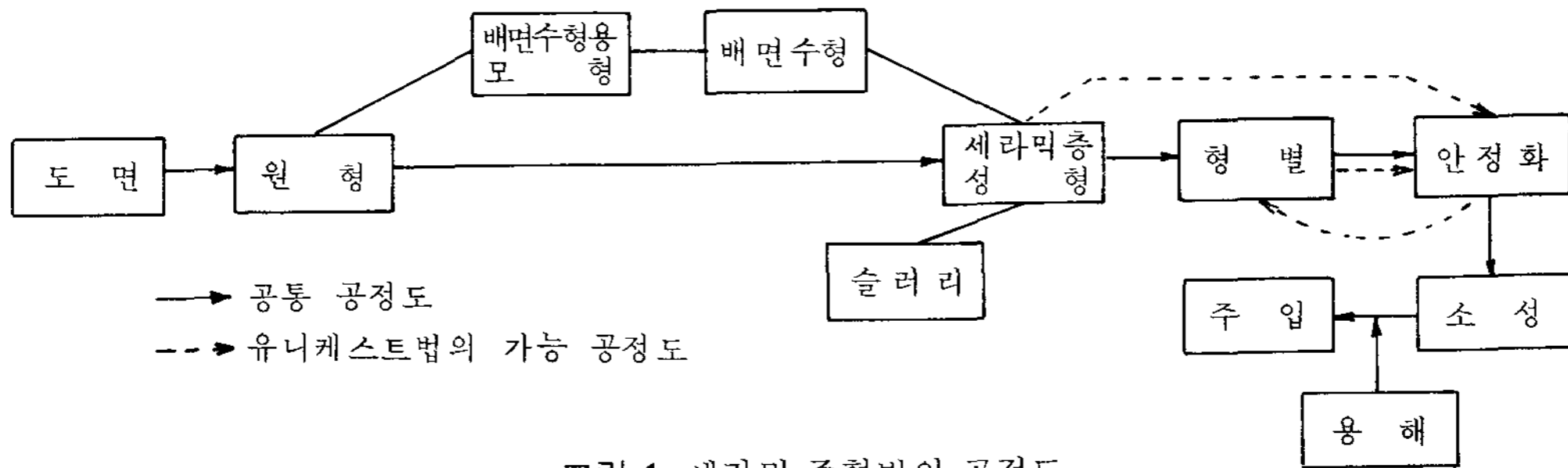


그림 1. 세라믹 주형법의 공정도

이들의 조형기술상 특징은 다음과 같다. 쇼우법은 형발 후 주형을 토오치로 급속가열함으로서 주형의 칫수안정화를 기한다. 즉 주형의 겔화한 후 그대로 방치하면 주형중의 알코올이 휘발하여 주형 표면에 조대한 균열이 발생하고 주형은 심하게 수축하는데 형발 즉시 토오치로 주형표면을 가열건조하면 알코올의 휘발속도가 주형의 건조에 의한 수축속도 보다 월등히 커서 주형의 표면에는 미세한 균열이 발생하면서 칫수가 안정화 된다.

이 미세균열은 주형의 칫수안정화 결과로 생긴 것이지만 주형에 통기성과 내열충격성을 부여하는 역할도 한다고 한다.<sup>(2)</sup>

유니케스트법은 전기의 쇼우법의 고화과정에서 주형을 가열건조하지 않고 경화육 중에서 안정화시킴으로서 칫수적으로 안정된 주형을 얻는 방법이다.

즉 점결제가 겔화하여 생긴 고상물질이 안정상으로 되기 위해서는 숙성과정이 필요한데 이를 위해 주형의 휘발성분을 함유한 경화육 중에 주형을 일정시간 담그거나 동일한 성분의 분위기 중에 일정시간 보관함으로서 주형의 칫수안정화를 기하는 방법이다.

씨엠법은 기존의 세라믹 주형법이 점결제의 주원료로 고가인 에틸실리케이트 (ethyl silicate)를 사용하고 있는 점에 착안하여 에틸실리케이트에 콜로이드 실리카 (colloidal silica), 물유리 등을 첨가하여 가수분해 함으로서 점결제의 제조원가를 낮춘데 그 특징이 있는 듯하다.

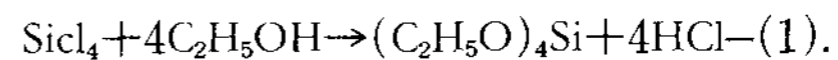
씨엠법에서 칫수안정화는 가열건조, 경화육처리 어느 쪽도 가능하다고 한다.<sup>(6)</sup>

## 2. 주형재료

### 2-1 점결제

#### 가. 에틸실리케이트

점결제의 주원료인 에틸실리케이트는 4염화규소와 에탄올의 에스테르 교환반응에 의해 생성된다.



이 반응은 HCl을 연속적으로 제거함으로서 화살표 방향으로 진행되는데 반응 생성물인 테트라에톡실란 [(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O)<sub>4</sub>Si]은 SiO<sub>2</sub>를 약 28% 함유하고 있으므로 「에틸실리케이트 28」이라고도 부른다.

공업적 합성에 사용되는 메탄올에는 수분이 함유되어 있는데 이 수분은 에스테르 교환반응의 중간 생성물 및 테트라에톡실란을 가수분해하여 고축합 폴리에톡실록산 (poly ethoxysiloxane)을 만든다.

「에틸실리케이트 40」은 이 폴리에톡실록산과 소량의 테트라 에톡실란(8~15%)의 혼합물로 SiO<sub>2</sub>의 함량이 약 40%인에서 연유된 이름이다.

「에틸실리케이트 40」은 축합도가 높아(5량체) 점결제로 조제했을 때 적은 량의 SiO<sub>2</sub>함량으로도 양호한 접착성을 가지므로 주형용 점결제의 조제에 널리 사용되고 있다.

#### 나. 가수분해

에틸실리케이트를 점결제로 사용하기 위해서는 가수분해하여야 한다.

에틸실리케이트의 가수분해 생성물은 물에 대해 불안정하여 침전 또는 겔을 형성하므로 충분히 안정한 졸(sol)을 만들기 위해서는 물과 에틸실리케이트에 대한 공용매를 사용한다.

주로 이용되는 용매는 에탄올이다. 에탄올의 첨가량은 조제하고자하는 점결제의 목표 SiO<sub>2</sub>함량에 따라 결정하며 가할 수분의 량은 목표가수분해도에 따라 결정한다.

가수분해 반응을 촉진하고 점결제의 저장안정성을 높이기 위해 촉매를 사용하는데 촉매의 종류에 따라 산성법과 알카리법으로 나뉘어진다.

알카리 가수분해의 경우는 겔화시켰을 때 점결력이 약하여 보통은 산성법을 주로 이용한다.

산성법에서 주로 이용하는 촉매는 염산, 황산 등의 무기산이다.

가수분해 방법으로는 소정량의 알코올, 물 촉매를 먼저 혼합하고 이 혼합물에 에틸실리케이트를 주입하면서 교반하는 방법이 주로 사용되고 있다.<sup>6)</sup>

## 2-2 겔화제

에틸실리케이트가수분해액의 점결작용은 점결제의 pH가 5~6으로 변화하면 불안정하여 겔화하는 현상을 이용한 것이다.

에틸실리케이트 점결제의 안정성과 pH의 관계를 그림 2에 나타내었다.

산성 점결제에 주로 이용되는 겔화제로는 탄산암모늄, 암모니아 수용액, 마그네시아 분말 등이 있다.

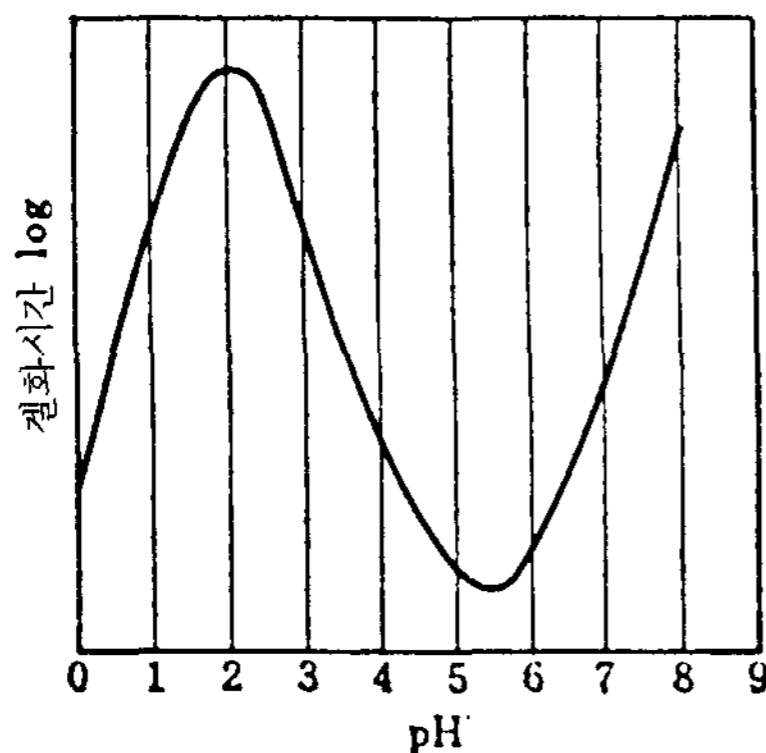


그림 2. 에틸실리케이트 가수분해액의 저장안정성과 pH의 관계

## 2-3 내화물

세라믹 주형용 내화물은 내화도, 열팽창성, 주입 금속에 대한 안정성, 등을 고려하여 선택하여야 한다.

주로 이용되는 재료로는 지르코늄 실리케이트, 알루미늄실리케이트, 용융실리카, 시리마나이트, 카이아나이트, 플라이트, 샤모트, 알루미늄 등이 있다.

한편 이들 내화물이 세라믹 주형용 골재로 사용되기 위해서는 적당한 입도분포를 가져야 한다.

내화물의 입도분포는 주형표면의 미려도는 물론 주형의 강도 및 통기도와 직접적인 관련이 있다.

일반적으로 세라믹 주형법에서 주형의 강도는 통기도에 반비례하지만 입도분포를 최적화 함으로서 강도 및 통기도를 다 같이 개선함과 동시에 점결제 사용량도 절감할 수가 있다.

이러한 최적입도구성의 기본원리는 칫수를 유지하기 위한 조립과 표면을 미려하게 할 미립이 최밀 충전조건을 갖도록 배합하는 것이다. 즉 조립에 의해 형성되는 공간에 미세립이 채워지고 다시 그 틈 사이를 더욱 미세한 입자가 채워지는 배합이어야 하는데 이러한 조건을 이상적으로 충족시키기 위해서는 큰 입자군의 최소입자경과 작은 입자군의 최대입자경의 비가 5:2이상이어야 한다.<sup>7)</sup>

입형 또한 주형의 물성에 영향을 미치는데 강도 및 통기도의 측면에서 구형보다는 각형이 바람직할 것이다.

## 3. 주형조형작업

### 1. 모형

#### 가. 원형용 모형.

세라믹 주형의 슬러리 겔화에는 열을 가하는 등의 조작은 필요없으므로 모형재료의 선택에 별다른 제약은 없다. 다만 슬러리의 유입 후 모형이 점결제를 흡수하거나 슬러리 중의 용매와 반응하게 되면 모형과 주형이 동시에 훼손되므로 이에 대한 주의를 요한다.

원형용 재료로는 목재, 석고, 수지, 고무(주로 실리콘계), 금속 등이 사용가능하나 목형, 석고형 등은 점결제 및 용매의 흡수를 방지하기 위해 표면봉공처리하여 사용하여야 한다.

봉공용 도료로는 비닐계 우레탄계 등의 도료가 사용된다.

목형은 시간이 경과하면 변형하므로 단품 생산의 경우 및 석고형용 원형으로 주로 이용된다.

석고형은 내구성면에서 10~20회 정도까지 사용 가능하며 복사성이 우수하기 때문에 주형용 원형으로서 뿐만 아니라 목형이나 고무형의 보존용 원형으로도 널리 사용된다.

대량생산의 경우에는 수지형이나 금형의 사용이 합리적이며 수지형을 사용할때는 용매와의 오랜 접촉으로 인해 변형되지 않는 재료를 선택하여야 한다.

그밖에 제품에 역구배가 있거나 형발이 곤란한 형상에 대해서는 실리콘고무형이 이용되나 이 경우는 고무형의 탄성이 주형의 칫수에 영향을 주므로 주의하여야 한다.

#### 나. 배면주형(back-up mold)용 모형

대형주물이거나 양산형의 경우는 슬러리를 절감

하기 위해 흔히 배면주형을 사용하는데 배면주형용 모형은 원형과 배면주형 사이에 5~10mm의 슬러리 유입을 위한 유격을 성형하기 위한 것이므로 칫수나 재료선택의 엄격성은 요구되지 않는다.

대량생산의 경우는 배면주형용 모형을 별도로 준비하여야 하지만 생산량이 많지 않을 경우는 유점토나 펠트 등 성형이 용이한 재료를 원형 위에 적당한 두께로 덮고 배면주형을 조형하는 것이 보통이다.

다. 수축율과 가공여유

주물의 수축율은 주조소재의 재질은 물론 형상, 크기 등에 따라 차이가 있고 또 같은 형상에서도 방향에 따라 다르다.

일반적으로 수축율은 표 1<sup>6)</sup>과 같은 소재에 대한 기본적 수축율과 함께 제작 경험을 통해 축적된 방향별, 형상별 수축율을 고려하여 적용하는 것이 최선의 방법이므로 주방상태에서 완전한 칫수의 제품을 얻기란 대단히 힘든 일이다.

정밀금형 등 칫수정도가 엄격한 제품을 제작할 경우 가공기준을 적절히 선택함으로써 최소량의 가공공수로 정밀한 칫수의 제품을 비교적 용이하게 제작할 수 있다. 즉 가공기준은 가공의 난이도에 따라 선택하여 가공이 힘든 부분은 가공여유를 적게 붙이고 대신 가공이 용이한 평면부, 측면부 등에는 충분한 여유를 붙여 여기서 오차를 흡수할 수 있도록 한다.

표1. 각종 주조소재의 수축율

재 질	수 축 율
주 철	7 / 1000 ~ 8 / 1000
주 강	16 / 1000 ~ 17 / 1000
알 미 늄 합 금	11 / 1000 ~ 13 / 1000
동 합 금	11 / 1000 ~ 12 / 1000
스 텐 인 레 스 강	18 / 1000 ~ 20 / 1000

2. 주조방안

세라믹 주형법에서의 주조방안은 일반주조법의 경우와 큰 차이는 없으나 정밀주조품에 대한 주물결함의 허용정도가 일반주조품에 비해 훨씬 엄격한 점을 감안하면 탕구방안 등에 각별한 주의가 요구된다.

주입시 용탕 중의 개재물 혼입을 억제하고 탕류

의 속도를 충분히 제어할 수 있도록 반드시 탐구계를 이용하여 주탕하도록 한다.

용탕의 표면산화 경향이 큰 금속을 난류상태로 주입하면 표면결함이 발생하기 쉬운데 이를 방지하기 위해서는 주형의 분할면을 제품의 하부에서 선택하여 하주법으로 주입하고 주입시간을 지나치게 길지 않도록 하는 것이 중요하다.

탕구비는 주형공간으로 용탕이 유입될 때 용탕의 난류를 충분히 억제할 수 있는 비가압계가 바람직하며 제품의 형상에 따라서는 경사주입의 활용도 고려할 만 하다.

압탕방안은 지향성 응고를 보장할 수 있어야 한다.

동일조건일 경우 상부압탕을 채용하면 용탕정입을 높여 형면의 복사성을 높이는 가압효과를 기대할 수 있다.

압탕을 포함한 주물의 형상이 복잡하여 응고시 주물의 수축이 주형에 의해 제한 될 경우는 주조응력으로 인해 주물에 변형이 발생하는 경우가 있다.

3. 배면주형

소형주물의 경우는 생산성 면에서 전세라믹주형을 이용하는 것이 합리적이지만 대형주물에서는 슬러리를 절약하고 세라믹 층의 강도를 보강하기 위해 배면주형을 이용한 복합주형(composite mold)법을 주로 이용한다.

복합주형법에서 이용되는 배면주형에는 일반 CO<sub>2</sub>형, 주철제금속배면주형, 내열세멘트를 이용한 내구주형 등이 있으나 일반적으로는 열팽창특성이 우수한 샤모트를 골재로한 CO<sub>2</sub>형이 사용된다.

알루미늄 등 용점이 낮은 금속의 주조시는 골재로 일반 규사의 사용도 가능하다.

골재의 입도분포는 슬러리 층과의 밀착성, 통기도 등을 고려할 때 조립이 유리하나 조립만 사용할 경우는 과량의 점결제가 소요되어 소성시 주형이 붕괴되는 경우가 있다.

주형의 열간강도를 높일 수 있도록 골재의 적절한 입도조정이 필요하며 사용되는 물유리도 연화온도가 높은 고 mole비의 것이 유리하다.

4. 슬러리

슬러리는 점결제, 내화물, 젤화제로 구성되며 필요에 따라 소포제, 의액제(擬液劑)등을 가하는 수도 있다.

어떤 경우에도 성공적인 주형제작을 위해서는 내화물 / 점결제의 비(filler / binder ratio : F / B 비),

겔화제 첨가량을 엄격히 관리하여야 한다.

F/B비는 주형의 성질, 슬러리의 유동성, 점성 등을 고려하여 적절히 선택하여야 한다.

복합주형법에서는 슬러리의 유동성이 충분하여야 하고 전세라믹 주형에서는 강도 등 주형특성을 우선적으로 고려하여야 한다.

겔화제 첨가량은 작업성과 주형의 물성을 고려하여 결정한다.

경화시간이 짧으면 슬러리의 주입이 끝나기도 전에 겔화하거나 주입은 끝나더라도 슬러리 중의 기포가 주형표면에 남아있어 주입 후 주물표면에 돌기가 발생하는 원인이 되고 경화시간이 지나치게 길면 비중이 큰 내화물 입자가 침강하여 주물의 칫수에 영향을 주고 토오칭과정에서 주형의 모서리부에 균열이 생기게 하거나 표면이 박리되는 경우가 있다.

슬러리의 교반작업은 가능한 한 신속히 하여야 하며 교반시 기포발생이 적은 방법을 택하여야 한다.

진공탈포처리도 종종 이용된다.

5. 칫수 안정화

에틸실리케이트 가수분해액이 겔화하면 리오졸 형태의 실리카와 에탄올로 된다. 겔화한 주형을 방지하면 에탄올이 증발하면서 주형표면에 조대한 균열이 생기고 겔의 성질도 열화하게 된다.

쇼우법에서는 이와 같은 조대균열을 미세균열로 분산시켜 주형의 칫수를 유지하게 할 뿐만 아니라 주형에 통기성을 부여하고 용탕의 열충격에 대한 완충작용을 갖도록 토오치로 급속가열건조한다.

한편 겔화 후 용매의 증발을 억제한채 방지하면 리오졸 상의 실리카가 중합쇄상반응에 의해 안정된 고상으로 바뀌면서 칫수도 안정되는데 유니케스트법은 이 방법을 이용한 것이다.

이러한 안정화처리가 주형의 칫수변화에 미치는 영향을 그림 3<sup>9)</sup>에 나타내었다.

안정화 처리는 주형의 칫수를 보다 정밀하게 하는데 효과가 있지만 이를 위해서는 점결제의 조성 등에 특히 유의해야 한다.

6. 소성

세라믹 주형은 주입시 주형으로부터 발생하는 가스의 영향을 제거하기 위해 고온에서 소성처리 한다.

소성온도는 유기물이 완전히 분해되는 800℃ 이상 (그림 4참조)에서 행하며<sup>10)</sup>처리시간은 주형의 열

용량을 고려하여 결정한다.

일반적으로 주형두께 2.5cm당 1시간정도가 추천된다.<sup>11)</sup>

CO<sub>2</sub>형을 배면주형으로 한 복합주형법에서는 세라믹 층과 배면주형의 열팽창특성이 다르므로 물유리가 연화하여 자체완충작용을 갖게되기 까지 승온 방법 및 승온 속도에 유의해야 한다.

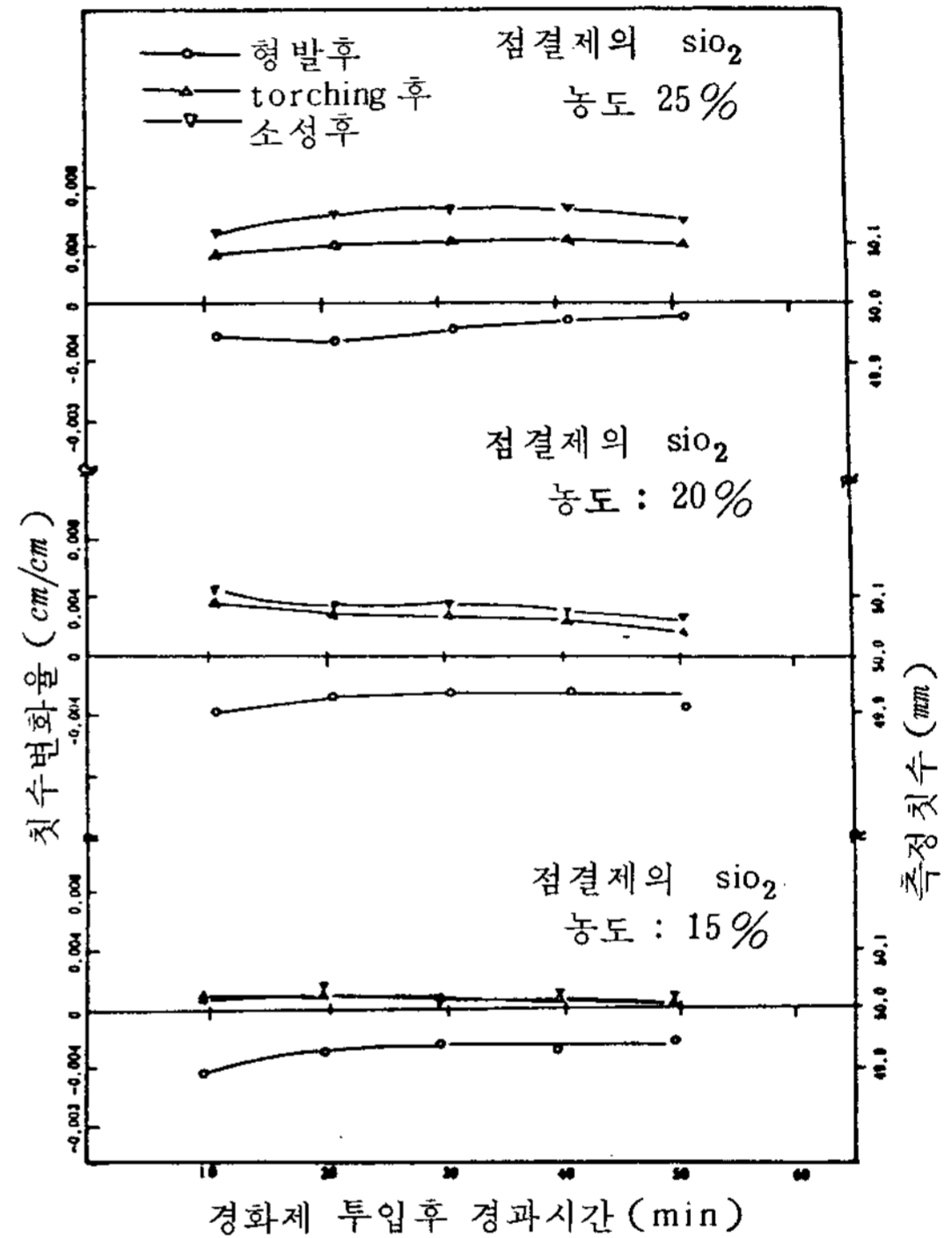


그림 3. 안정화 처리가 주형칫수에 미치는 영향

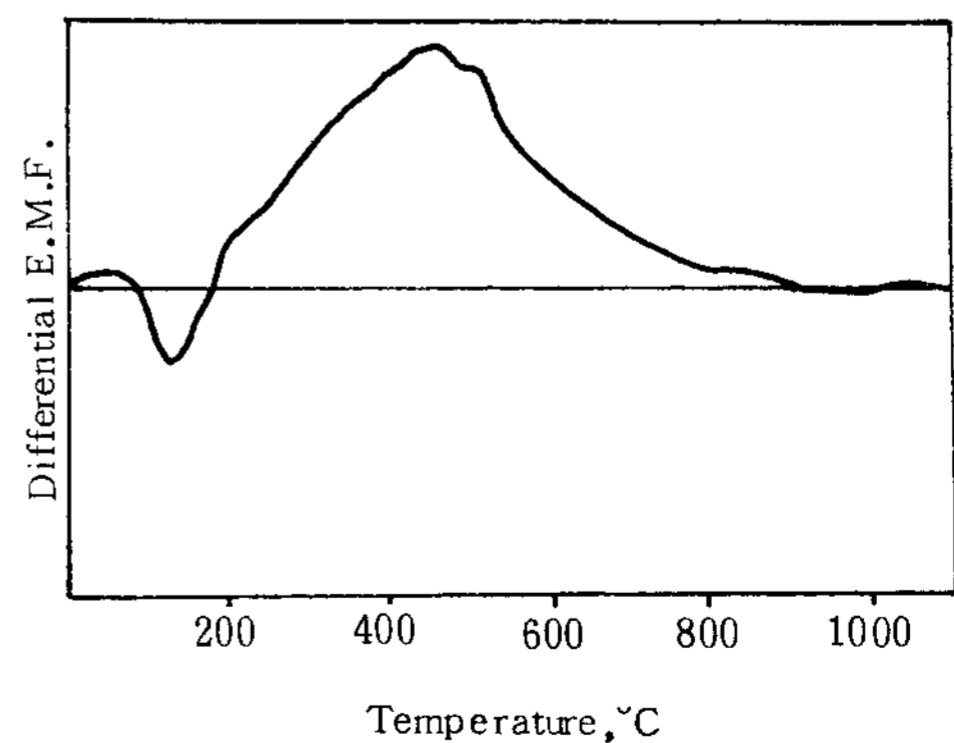


그림 4. 에틸실리케이트 가수분해액의 D.T.A에

### 4. 주조작업

#### 1 용해 및 주입

금형류나 공구류 소재는 일반적으로 용해시 성분 산화의 경향이 커서 먼저 목적조성으로 모합금을 만들어서 유도로 등을 이용하여 신속히 용해주입하여야 한다.

또한 이러한 소재의 주조시는 용탕의 유동성을 높이기 위해 위의 Si의 량을 증가시키고 표면결함 방지를 위해 Mn, Ni등을 증가시키거나 첨가할 필요가 있다.

용탕 중 비금속 개재물은 가능한 한 적어야 함이 원칙이지만 세라믹 주형법을 포함한 정밀주조법에서는 더욱 그렇다. 주입시 내화물 필터 등을 활용하는 것도 개재물 혼입방지의 방법이 될것이다.

주입시 용탕의 유동성을 보장하고 주조응력을 줄이기 위해 주형온도를 적당한 온도로 높일 필요가 있다.

#### 2. 주형조작

세라믹 주형법에서는 주형의 열전도도가 낮고 예열주형을 사용하므로 강주물의 경우 주형반응에 의해 표면탈탄 및 산화가 문제가 된다.

특히 Cr을 함유하는 강주물에서는 표면산화로 인해 블라스팅 후 그림 5와 같은 반점상의 결함이 나타나는 수가 있다.

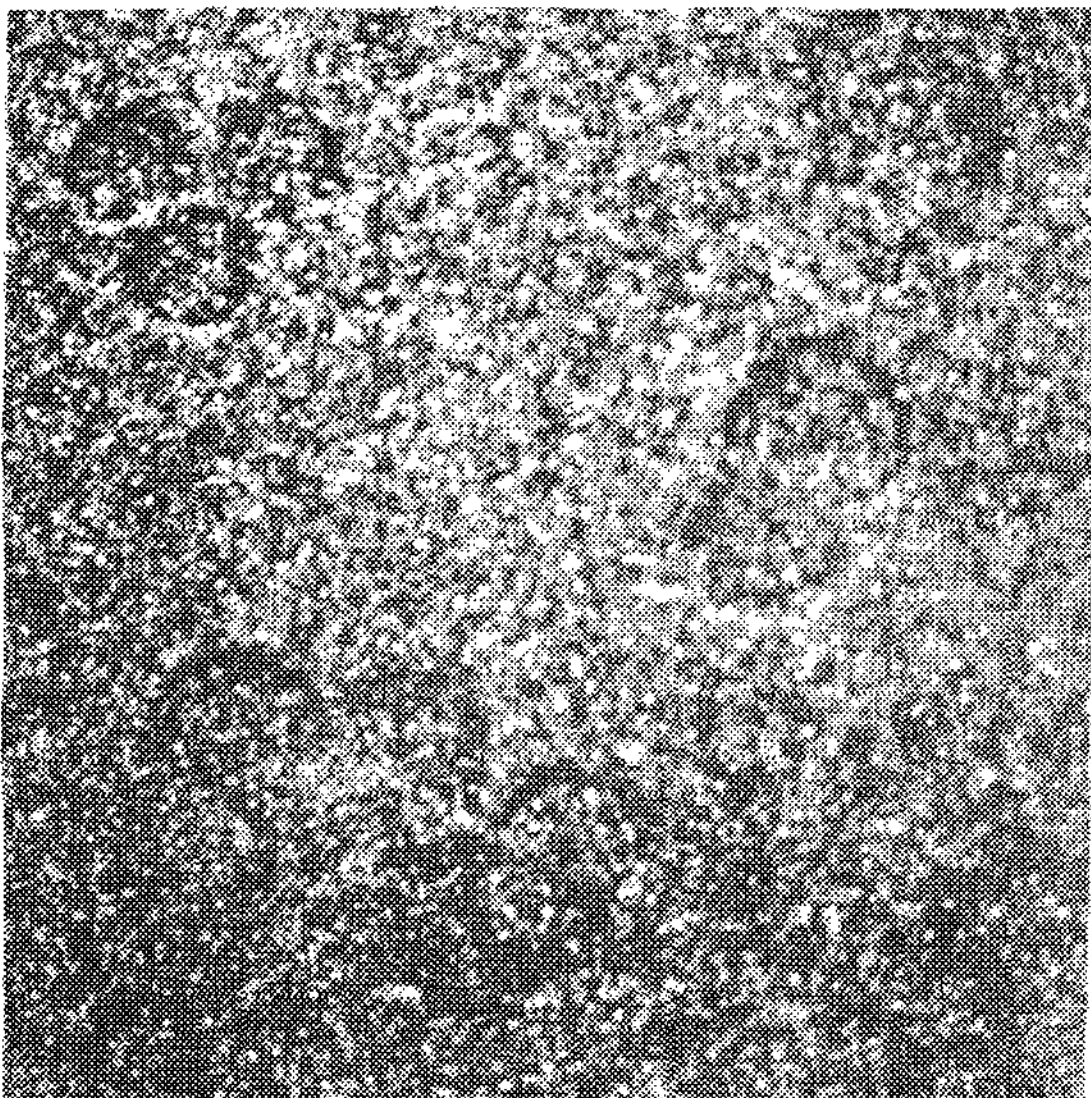


그림 5. 세라믹 주형법으로 주조한 주물표면의 반점상 결함(STD61)

이러한 결함에 대한 대책으로는 주입직전 또는 주입 중 주형에 4염화탄소, 3염화에틸렌 등 할로젠 화물을 함유하는 유기가스로 주형을 에워싸는 방법<sup>(12)</sup> 주입직후 주입구 등에 헥사메틸렌테트라아민(hexamethylene tetramine)등을 투입하고 밀폐용기로 공기를 차단하는 방법<sup>(13)</sup>등이 있는데 이 경우는 분위기가 부적합할 경우 오히려 침탄이 되는 경우도 있다.

그밖에 Ar등의 불활성 가스로 주형공간의 공기를 치환하여 무산화 분위기로 하는 방법, 주형의 소성 온도에서는 산화되지 않으나 주입시 용탕의 열에 산화하는 과립상의 Fe-B를 슬러리 중에 첨가하여 사용하는 방법<sup>(14)</sup>등이 알려져 있다.

표면탈탄방지처리를 행한 것과 행하지 않은 조직의 예를 그림 6에 나타내었다.

#### 3. 후처리

주조 후 주물이 충분히 냉각되면 주형에서 취출하여 청정작업을 행한다. 회수설의 청결을 유지하기 위해 블라스팅 후 탕구, 압탕 등을 절단하는 것이 바람직하다.

탈사시 세라믹 층의 붕괴성은 일반무기점결제형 주형에 비해 대단히 양호하므로 탈사에 큰 어려움은 없으나 내화물 중 철분이 많은 경우는 소결현상에 의해 탈사에 어려움이 따를 뿐만 아니라 주형 반응의 원인이 되는 수가 있다.

### 5. 세라믹 주형법의 응용

세라믹 주형법은 공정상 다음과 같은 특징을 가진다.

가. 주조법이므로 소재성형기술로서 형상 및 재질선택에 대한 자유도가 크다.

나. 원형(master pattern)에 대한 복사성이 양호하고 칫수적밀도가 높다.

다. 압연재에 비해 기계적 성질이 등방성이다.<sup>(15)</sup>

이러한 까닭에 미술공예품, 각종 금형류, 공구류, 스팀 터빈용 대형 블레이드등 산업기계류의 제작에 널리 이용되고 있다. 특히 기계가공 등의 방법으로 는 거의 불가능한 나무무늬나 가죽무늬 같은 자연 무늬의 성형이 세라믹 주형법에 의해 용이하게 달성될 수 있는 것이 이 방법의 장점이다.

또한 주물표면의 응고조직을 치밀한 등축정으로 만들므로써 금형류나 공구류의 수명을 대폭 연장시킬 수도 있다.

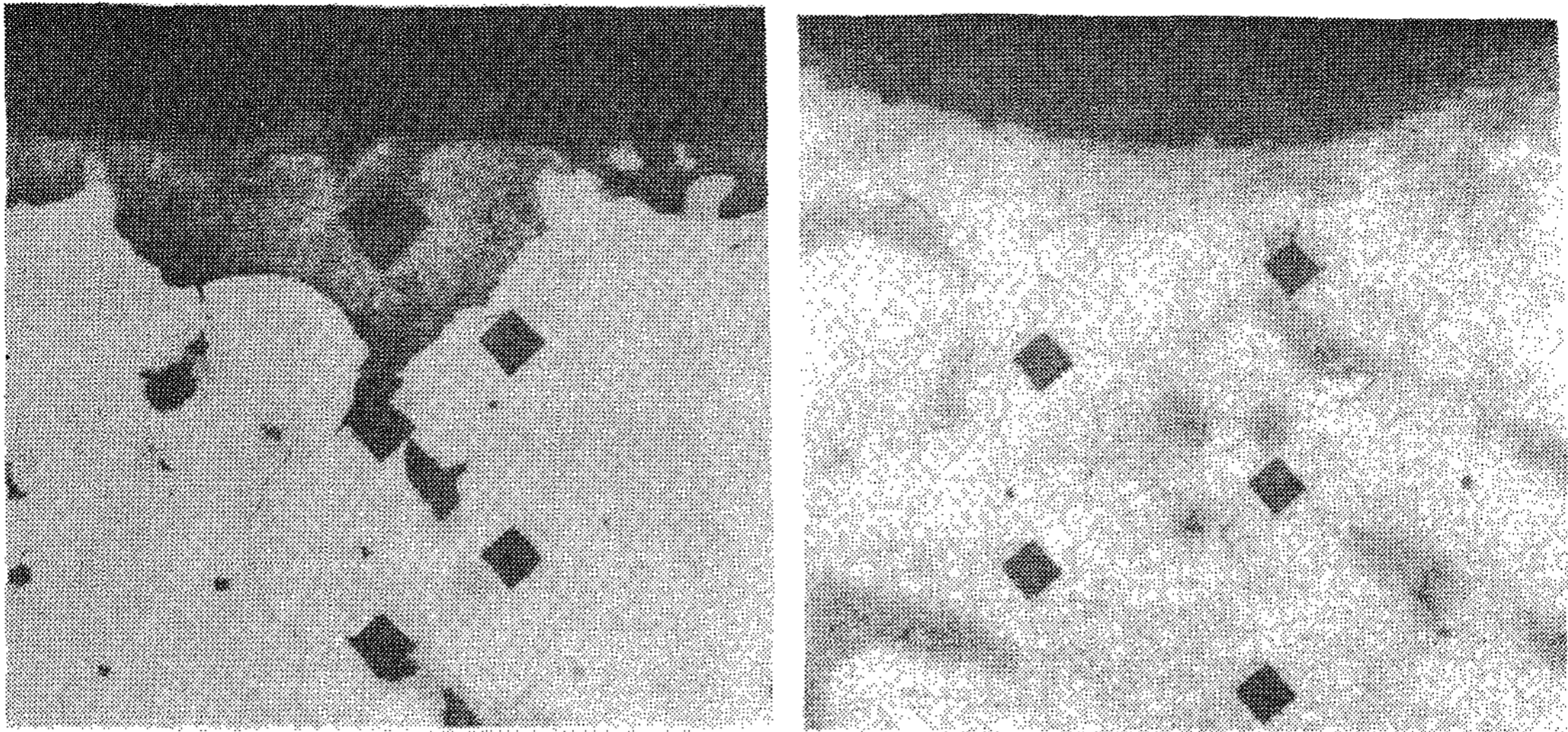


그림 6. 표면탈탄조직과 건전조직의 예(STD 61)

그러나 치수정도가 엄격한 제품의 경우는 주방상 태에서 원하는 치수를 구현하기란 대단히 어려운 일이므로 방전가공법과 결합하여 사용하거나<sup>16) 17)</sup> 전체제작 기술의 일부로서 세라믹 주형법을 사용하고 있다.

## 6. 결 언

세라믹 주형법이 우리나라에 도입된 것은 최근의 일로, 타 조형법의 도입 추세에 비추어 이 기술의 도입은 상당히 늦은 감이 있다.

물론 기계가공기술의 발달 및 정밀금형에 대한 수요증대는 세라믹 주형법의 매력을 감하는 요인이기는 하나 이 방법의 단순성, 신속성, 경제성 등을 고려하면 아직도 금형류 제작기술로서의 활용여지는 충분할 뿐만 아니라 산업기계류 주물의 제조시에도 이 기술을 활용함으로써 원가절감과 품질향상에 효과를 거둘 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. ASM. Metalhand book.(8thed).vol 5
2. 日本鑄物協會, 精密鑄造法(1975)
3. I, Lubalin, R.J.Christensen, AFS Trans. (1960)p539
4. M.J.Sreden, AFS. Trans, (1977), p9
5. KuBo TA, LTD, Confidential Bulletin.
6. P.G.Carpenter, Precision Metal Nov, 1972, p67
7. 김동옥, 박태식, 이경환, 특허공고 21240.
8. AFS, Basic Principle of Gating & Risering(1973)
9. 한국과학기술원 보고서(1984)
10. W.F.Wales, AFS Cast Metals Reach Journal may, 1969, p7
11. Avent Shaw, confidential Bulletin Arg. 1962.
12. 金織徳郎, JACT NEWS, Jul. 1983, p6739.
13. C.Shaw. US. Patent. 2935722.
14. G.E.Doremus, C.R.Loper, AFS.Trans, (1970). p338.
15. 望月俊男, 座間準一, 三葉製鋼技報(1968) No2, p48.