

技術資料

유도로에 의한 주철의 용해 및 보온에 관한 용탕의 야금학적인 성상변화

김 봉 완

Some Metallurgical Considerations on the Melting and Holding in Electric Induction Furnaces

B. Y. Kim

서 언

유도로 용해의 주요한 장점은 1) 광범위한 장입 재료를 사용하여 특정성분의 주철을 생산할 수 있고, 2) 엄격하게 관리된 온도에서 용탕을 출탕, 간직할 수 있다는 것이며, 그 외에도 전기로 용해는 정도높은 야금학적인 관리가 이루어 질 수 있다.

이러한 제어능력은 가단주철, 구상흑연주철, 강인주철 및 특수합금주철을 생산하는데 있어 매우 중요하다. 야금학적인 관리를 적절히 행함으로써 유도로 용탕도 cupola 용탕과 여러가지 면에서 동일하게 된다는 것을 조업경험에서 알 수 있다.

즉, 적절한 공정관리에 의하여, 용해설비에 관계없이 만족한 결과를 얻을 수 있는 것이다. 동일한 기본조성의 용탕에서 주물품질이나 특성에 차이가 생기는 것은 미량원소의 변화나 핵생성정도에 의하여 설명될 수 있다.

유도로 용해공장이 이룩할 수 있는 높은 수준의 제품관리 및 견실성은, 재료의 선별에 있어서의 주의, 금속조성의 변화에 대한 수정능력 및 용해와 보온작업의 표준화에 달려있다. 이들 생산국면이 주의깊게 관리되지 않으면, 얻어진 주물의 야금학적인 특성의 변화가 있게된다.

전기로의 형식과 조업 및 원재료의 품질이, 미량원소 함량의 중요한 변화와 주철핵생성에 어떻게 영향을 미치게 되는가를 설명하고, 이 두가지 요소가 주물품질의 변동을 가져오는 원인을 밝히고자 한다.

원재료와 노조업의 영향

주철주물의 특성과 특질은 장입배합과 용해작업에 따르는 여러가지 요인들에 의하여 지배받는다.

가. 기본조성

회주철, 구상흑연주철, 가단주철에서, 탄소(C), 규소(Si) 및 인(P)은 기계적성질에 중요한 영향을 미치고, 반면 유황(S)과 망간(Mn)은 야금학적으로 중요한 역할을 갖는다.

회주철에서 C, Si과 P 혹은 탄소당량(CE)값과 기계적 성질사이에는 뚜렷한 관계가 있다. 이 관계는 상당량의 편차를 가지게 된다. 같은 탄소당량값에 대하여  $\pm 31 \text{ N/mm}^2$ 나 되는 인장강도의 편차가 있으며, 이는 미량원소와 핵생성의 변동으로 일어나는 것이다.

전기로의 용해에 있어 C, Si 및 Mn은 적은 양의 손실이 용락기간 동안에 일어날 수 있다. 이들 원소의 용해손실정도는 경험적으로 명확하며, 문헌적으로도 확인할 수 있다.

전기로내에서 주철용탕을 1보온하는 동안 C 나 Si의 손실은 용탕표면의 산화에 기인하는 것이다. 보온 중에 C과 Si이 감소될 수 있는 범위는 용해로의 종류, 크기 및 조업방법에 주로 의존한다.

전 C와 Si의 감소는 주철의 강도, 경도 및 백선화 경향의 증가를 가져오고, 주물품질의 중요한 변동을 가져올 수 있다. 자동차 용회주철의 용탕을 30톤 채널로에서 4시간 보온하였을때, Si의 변화는 거의 없고 C는 3.23에서 3.17까지 감소한 결과가 보고되었다.

보온기간동안의 보온 온도는 1460°C - 1480°C였

고, 약 18톤 출탕하였다. 노의 조업중 금속은 주로 부착성 산화물로 부터 일어나는 자연발생 슬래크와 가탄제등의 회분으로 덮여 있었다.

비슷한 등급의 주철 30톤을 무철심 저주파로에서 출탕하지 않고 5시간동안 1480℃에 보온하였으나, C나 Si함량의 변화는 없었다. 역시 이기간중에 슬래크층이 표면에 덮여 있었다.

비교에 의하면 2톤 중주파 유도로에 1시간동안 1460℃에 보온된 용탕은 시간당 0.07%의 탄소감소를 일으켰다. 이때 슬래크층은 없었다. 유사하게, 한시간 동안 350kg 고주파로에서 슬래크 피복없이 1480℃에 보온된 용탕은 0.18%의 탄소 감소를 가져왔다. 어느 경우도 Si의 현저한 감소는 없었다.

알루미나질로 라이닝된 유도로에서 잘 피복되었을때 기본조성의 현저한 변화는 없었다. 노를 잘 피복하여 14일 이상 유지된 용탕에 대하여 단지 0.03%의 탄소 손실만이 있었다. 같은 종류의 유료도에서 28일동안 유지된 30톤의 용탕은 Si의 손실은 없이 비슷한 탄소손실이 있었다고 한다.

그러나, 불충분한 피복의 결과로 0.25%의 C, 0.20% Si의 손실이 7일간 채널형 보온로에 보존된 용탕에서 일어났다. 이때 Mn, P 및 S의 감소는 감지할 수 없었다. 상부개방형 전기로에서 C와 Si의 감소는 노출 표면적 / 부피 비의 출탕이나 통전에 의하여 일어나는 요동현상 정도에 관계된다.

대용량의 용탕은 장기간 보온하여도 탄소감소는 무시될수 있으나, 소용량의 전기로에서는 C, Si의 감소는 막기 힘들고, 잦은 출탕과 요동현상은 이들 성분의 감소를 촉진한다. 이러한 경우 성분보정이 없으면, 주물특성의 현저한 변동이 초래됨을 알 수 있다.

나. 유황

유황은 주철에서 중요한 성분이다. 야금학적으로 여러가지 중요한 영향을 미친다. 이는 강력한 탄화물촉진 원소로서, 회주철에서는 가공성을 심각하게 해치는, 바람직하지 못한 탄화물형성을 방지하기 위하여 중화되지 않으면 안된다. 망간이 아래 공식과 일치하게 존재하여야 한다.

$$Mn \% = 1.7 \times S \% + 0.3 \%$$

정상적으로는 0.55와 0.75%사이에 존재한다. Mn과 S는 결합하여 용해되지 않는 유화망간(MnS)의 입자를 형성하여 주철의 응고중에 석출한다. 과도한 Mn과 S의 함량은, 저온에서 액체금속의 표면에 슬래크 형성을 조장하고, 주물의 표면하 결합을 초래

하게 한다.

유도로와 cupola 용탕의 중요한 차이의 하나는 유황 함량 수준이다. Cupola 용탕에서의 주요한 유황증가원은 coke이고, 이들 용탕은 대개 0.08-0.15%의 S를 함유한다. 그러나 전기로 용탕에서는 0.02-0.08% 정도이다.

사용되는 원재료가 cupola에 사용되는 것보다 유황이 낮고 coke에서 오는 것은 없기 때문이다. 유도로 용해에서 과도한 강고철 사용은 매우 낮은 S함량의 용탕을 만들어, 흔히 0.05%이하로 되는 수가 있다.

유황은 역시 주철의 핵생성에 중요한 영향을 미치며, Fuller는 같은 기본조성의 용탕에서 저유황주철은 고유황 주철보다 핵생성정도가 낮다고 보고하였다. S의 함량이 낮으면, -0.05%이하-많은 접종 첨가에 감응하지 않는 편상흑연 주철을 만든다.

(그림 1 참조)

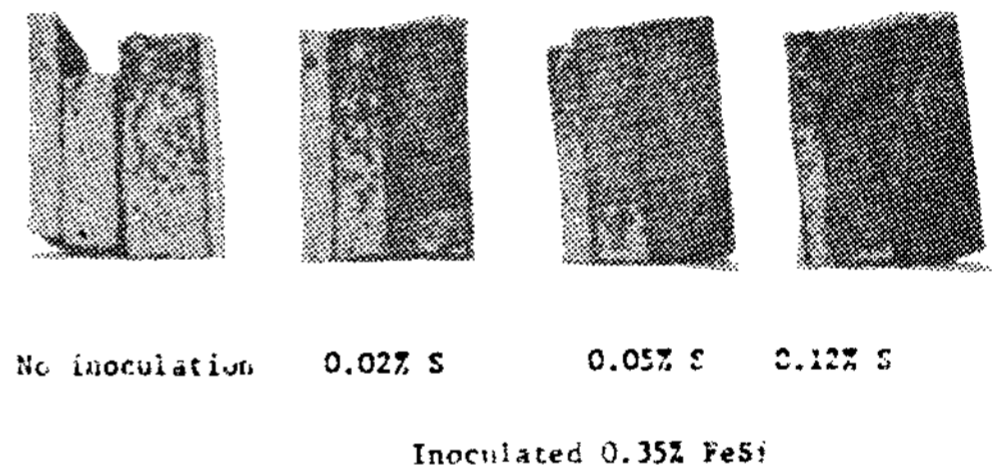


그림 1. Effect of sulphur content on response to inoculation.

결과적으로 조직상 ferrite가 공존하는 ASTM D형 흑연(미세한 과냉흑연)이 지배적인 흑연조직을 만든다. 접종제에 대한 적절한 감응을 얻어 백선화 경향을 감소시키거나 만족한 흑연조직을 얻기 위하여, 전기로 용탕의 S함량을 유화철 첨가에 의하여 0.05%이상으로 증가시킬 필요가 절실한 이유를 많은 주물공장에서 발견하게 되는 것은 이러한 조건 때문이다.

전기로 용탕의 주요한 S의 공급원은 가탄제, 주철설 및 유황함유 쾌삭강 등이다. 가탄제의 유황함량은 광범위하게 변할 수 있으며, 고순도 흑연의 0.05%이하에서부터 몇가지 석유코크스의 0.15%이상까지에 이른다. 구상흑연주철 제조에서는 저유황 재료가 쓰이나, 회주철생산에서는 석유 coke에 함유된 유황이 가장 유용한 공급원이다.

가탄제의 선택은 결과적인 주철의 유황함량을 결정하는데 매우 중요하다. 유황함량의 변동은 종종

접종처리의 효과의 손실에 기인하는 모서리 chill의 발생원인이 된다. 이는 역시 D형 흑연의 형성을 초래할 수 있고, ferrite가 발달하면 D형 흑연은 강도와 경도의 감소를 함께 가져올 수 있다.

망간, 철의 규산화물 슬래크와 관계되는 표면화 기공결함은 높은 유황함량과 낮은 주입온도에 의하여 더욱 심해지고, cupola 용탕과 같은 고유황 주철에서 일어나기 쉽다. 유황함량이 낮은 주철을 생산할 수 있는 전기로의 능력은, 일반적으로 주물에서의 이런 결함이 비교적 드문 것을 보장하는 것이다.

유황의 함유정도에 따라, 유황은 주물품질에 현저한 차이를 초래하는 편상흑연의 특질에 아주 명백한 영향을 갖는다.

다. 인

인은 건전성에 역효과를 갖는다. 유압조절 valve, cylinder head 및 block과 같은 복잡한 주물에서는, 특히 고도의 건전성이 요구되는 경우, 인의 함량은 0.06%이하로 할 필요가 종종 있다. 한편 매우 낮은 인함량은 분명한 불이익이 될 수 있다. 0.05%이하의 인 함량을 갖는 주철이 사용될 때, 심한 금속침투 및 지느러미 발생이 일어날 수 있다.

전기로에서 생산되는 고급주물의 인 함량은 흔히 cupola 용탕에서 보다 낮다. 이는 일반적으로 전기로에서 강고철배합이 보다 낮고 고급의 주물철을 사용하기 때문이다. 다량의 강고철 장입으로 생산되는 전기로용해 주철에서 0.03%이하의 인함량이 얻어진다는 것은 드문일이 아니다. 그러나, 고급의 강고철이 사용되지 않으면, 인함유 주물성분과의 강의 오염결과로서 인함량은 더욱 높아질 수 있다.<sup>8)</sup>

전기로 용해와 관계되는 낮은 함량의 인은 주물의 어떤 부위에서 주형과 코어 양쪽의 금속침투와 코어가 들어 있는 면에서의 지느러미 발생에 현저한 영향을 미친다.

Levelink와 Julian은 0.05% 이하의 P함량을 가지는 주철이 사용될 때, 금속침투 경향이 증가하는 것을 보여주고 있다. 인이 매우 낮은 주철을 사용할 때 지느러미 발생경향도 역시 증가한다.

그러므로, cupola에서 전기로 용해로 전환하면, 노장입에 있어서 고율의 강고철 사용 결과로 인함량의 필연적인 감소와 함께 지느러미 발생과 금속침투가 많이 일어나게 된다. 그림2는 소형 piston의 금속침투를 보여주는 것으로 후처리 비용이 커지게 된다. 요는 인을 0.04내지 0.15%로 증가시킴으로 그 문제는 해결될 수 있었다. 한편 인함량이 증가하

면 위에 설명한 대로, 임계한도의 주물에서 내부기공(internal porosity)를 초래할 수 있다.

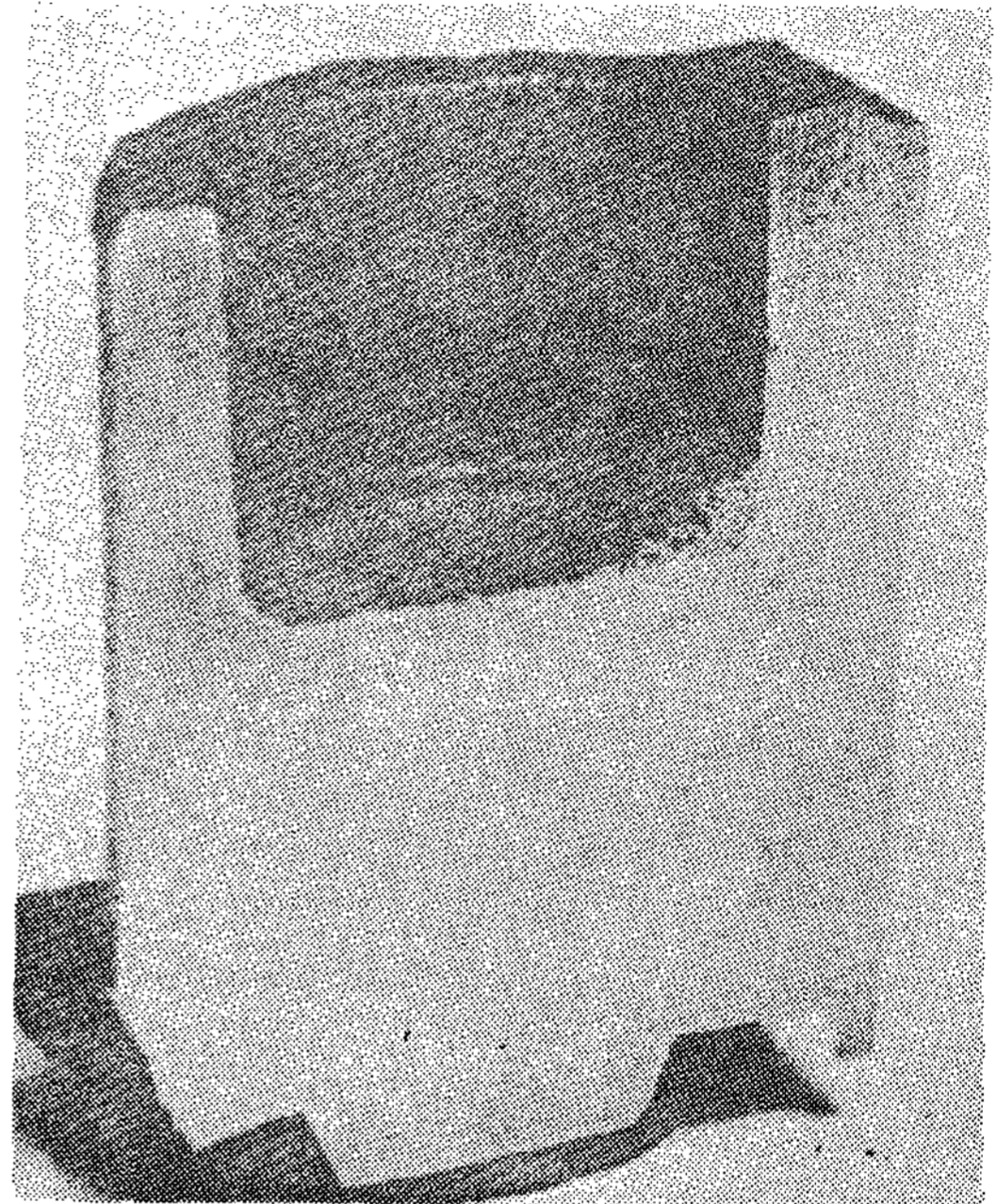


그림2. Metal penetration in small grey iron piston due to low phosphorus content.

라. 미량원소의 중요성

개별적으로 또는 복합적으로 미량원소는 주물품질에 중요한 영향을 미친다. 미량원소는 4종의 군(group)으로 분류된다.

① 공정탄화물 조장원소 :

- Cr, Te, Bi, Bo ... .. 강력한 원소
- V, N, Mo, As ..... 다소 약함

이중 많은 원소가 pearlite형성을 촉진하여 편상흑연 주철과 pearlite 구상흑연주철에 쓰인다.

② pearlite 조장원소 : Sn, Cu, Ni등

주철의 Pearlite 발달에 이로우나 ferrite 형 구상흑연주철에 해롭다.

③ 흑연조직을 해치는 원소 : Pb, Te, Bi, As

Pearlite를 조장하나 흑연조직을 해하므로 별로 사용되지 않는다.

④ 수소 증가 조장원소 : Al

수소 편출을 일으키고, 간혹 Ti과 작용하여 같은 현상을 초래하는 수도 있다.



편상흑연 주철에서 Cu, Cr, Sn등을 소량첨가하면 강도를 향상시킬 수 있으나, ferrite 형 구상흑연주철에서는 이러한 pearlite 조장원소가 억제 되는 것이 중요하다.

이들 원소에 영향을 미치는 원재료, 특히 강고철에 주의를 기울여야 한다. 백선발생이나 경도의 간헐적 증가는 강고철에서 오는 어떤 백선화 조장원소의 개별적 또는 복합적 증가에 기인하는 것이다. 표 1은 기본조성의 주철에 미량원소가 미치는 강도, 경도에 대한 영향을 보여준다. A주물은 충분히 pearlite 가 발달하여 주물 B보다 가공하기가 힘들다.

A주물은 B주물보다 Cr, Cu, Sn, As 및 Mo이 많다.

개별원소의 함량은 낮지만 그들의 복합적 영향은 pearlite조장현상이 아주 크다. 외에 두 주물의 N 함량은 비슷하나, pearlite 형성에 대한 영향은 주물 B에 비하여 Ti함량이 낮은 A 주물에서 지대하다. 그러므로, 미량원소의 근소한 변동이 기지조직, 경도,

강도 및 가공성의 차이를 설명해 주는 것이다. 그림 3, 4는 구상흑연주철의 기지조직에 미치는 미량원소의 영향을 보여준다.

1) 납(Pb)

편상흑연 주철에 있는 납은 만족스럽지 못한 흑연조직을 초래하고, 기계적성질 특히 인장강도에 중요한 역영향을 미친다. 그림 5는 회주철의 흑연조직에 대한 납의 영향을 보여준다. 이런 조직이 일어나는 범위는 존재하는 납의 정도 주물두께, 금속의 수소함량에 따른다. 여러 연구자들은 납은 역시 주물의 건전성에 나쁜 영향을 미친다고 하며, 영국 BCIRA 에서도 대단한 오염으로 간주되는 0.004% 이상되는 수준의 납을 함유하는 주철에 대하여 같은 견해를 뒷바침하는 현장 경험을 가지고 있다고 한다.

납은 강이나 주물고철의 일반적인 오염물이다. 강고철에서 이는 페인트나 연쇄삭강이 근원이고 주

표 1 Effect of trace elements on hardness and strength of two flake graphite irons

	TC%	Si%	Cr%	Cu%	Sn%	As%	Mo%	N%	Ti%	경도 HB	인장강도 N/mm <sup>2</sup> (tonf/in <sup>2</sup> )
casting A	3.39	2.01	0.14	0.20	0.01	0.02	0.045	0.0060	< 0.01	207	195 (12.6)
casting B	3.39	1.94	0.06	0.13	<0.01	0.01	0.025	0.0055	0.02	165	167 (10.8)

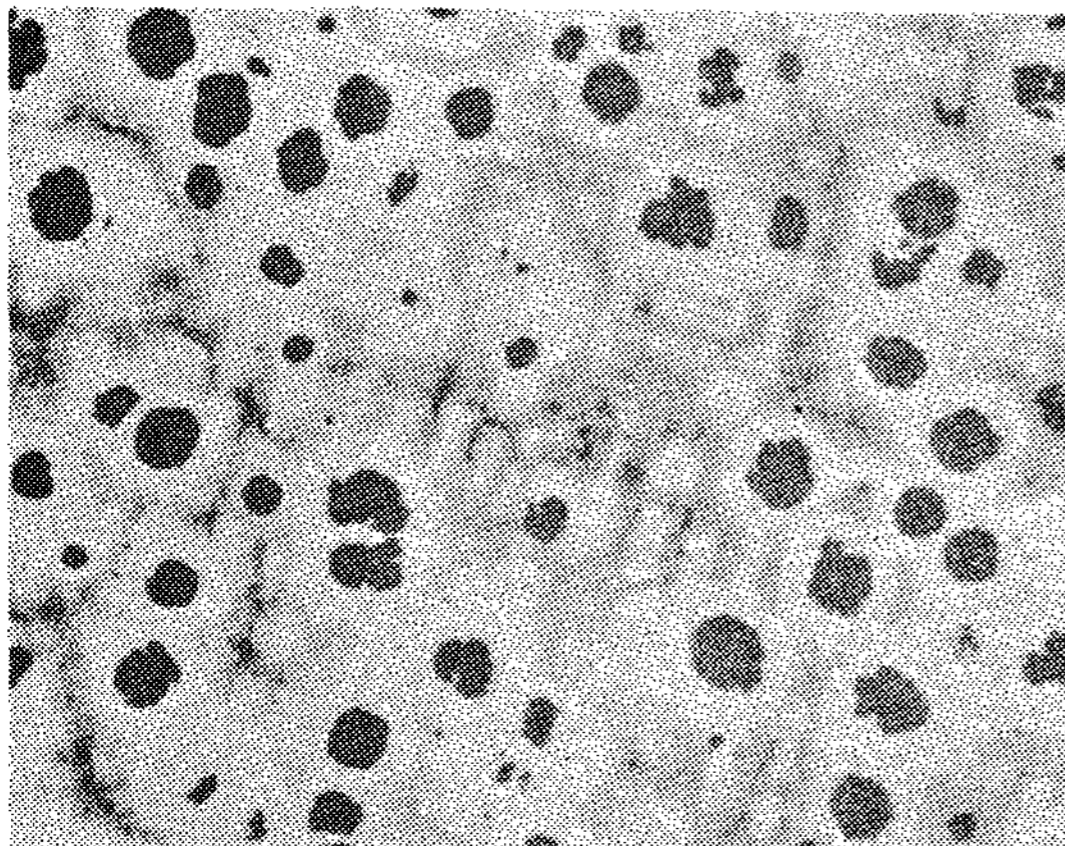


그림 3. Nodular iron structure with a low trace-element content. Etched in 4% picral. ×100

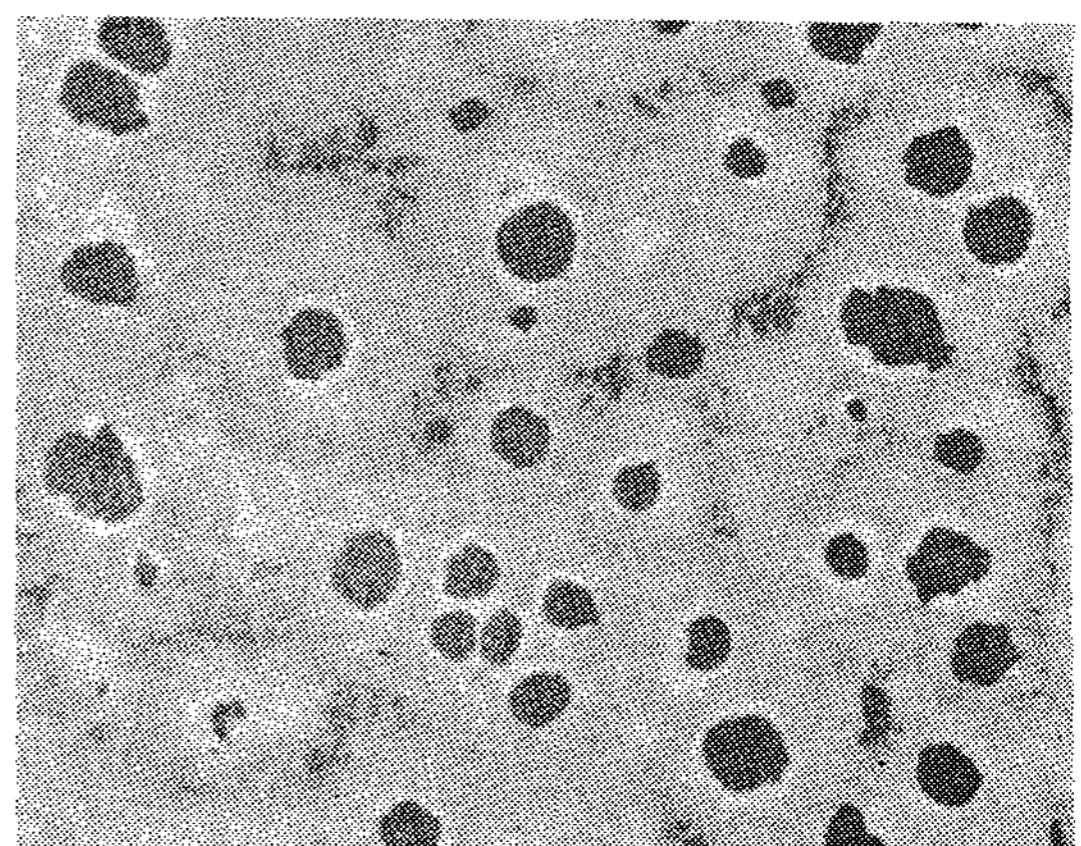


그림 4. Nodular iron structure with a higher trace-element content. Etched in 4% picral. ×100

물고철에서는 페인트나 고철에 묻어있는 납함금을 포함한 비철금속이 원인이다. 엔진 고철에서는 cylinder head나 배기관(exhaust manifold)에 침적된 납 성분으로 존재한다.

납은 전기로 용해 주철에서 가장 심각한 오염원 인으로 간주된다. Cupola에서 유도로로 전환하든가 납으로 오염된 저급의 강고철 또는 주물고철을 사용할때, 납의 함량을 지속적으로 0.0015% 이상 유지

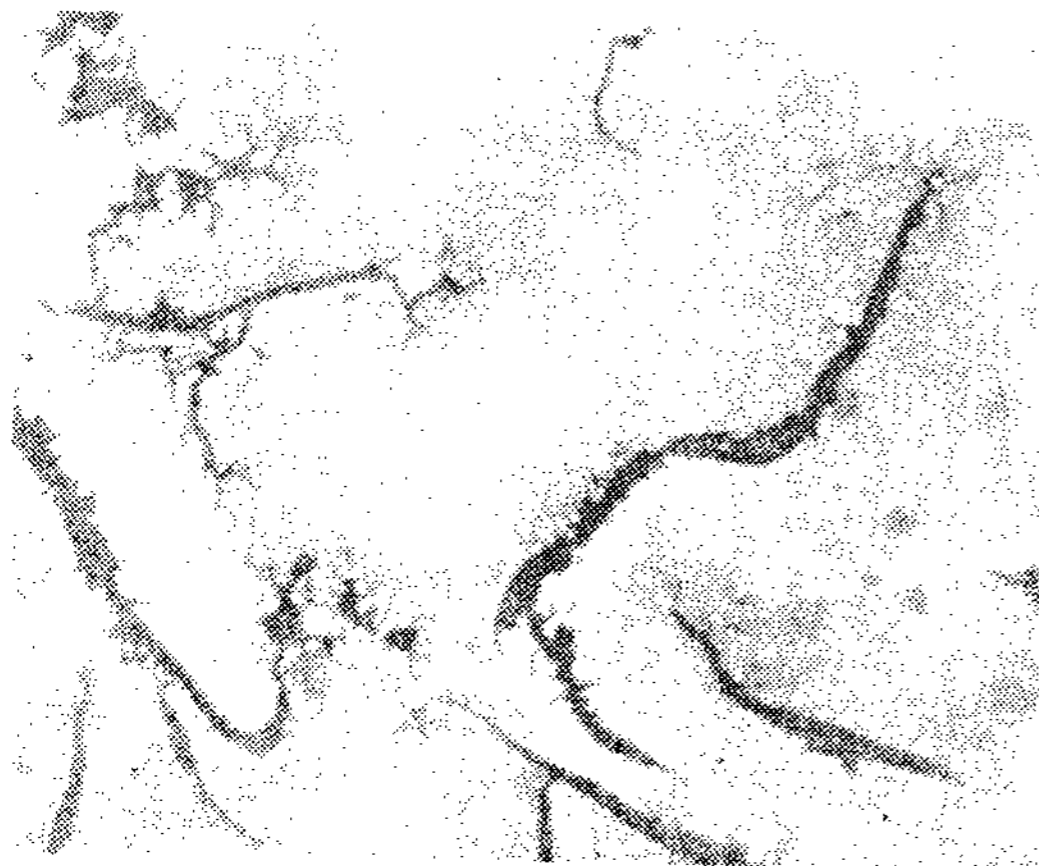


그림 5. Undesirable spiky graphite structure due to contamination with lead. Etched in 4% picral. ×250

하게 된다. 이 정도의 함량은 치명적으로 유해하다.

편상흑연에서 흑연조직에 영향을 미치는 정도는 금속의 수소함량에 의존되므로 생형과 화학점결제 주형 또는 건조형 주형에서 생산된 주물에서 인장 강도에 큰 차이가 있을 수 있다. BCIRA는 화학점결제 주형이나 건조형에서 생산되고, 납으로 오염된 용탕으로 주입된 주물은 특히 비정상 흑연조직이나 Widmanstätten 조직의 증거가 별로 없었다고 한다. 그림 6, 7은 회주철에서의 기지조직에 대한 납의 영향을 보여준다.

Pb에 의한 주철의 간헐적 오염에서 올 수 있는 수소함량의 변화는 매우 중요하다. 경험에 의하면 흑연조직이 납에 의하여 영향을 받지 않는다면 동일한 CE값에서 인장강도의 심한 감소는 없으나, 오염 정도가 높으면 pearlite 량과 경도의 증가를 가져온다고 한다.

낮은 경도와 가공성을 유지하기 위하여는 이러한 환경하에서는 CE값을 증가시킬 필요가 있다. 정밀한 가공면을 요구하는 부품, 특히 compressor나 진공부품등에서 납의 오염으로 인한 비정상 흑연의 존재는 가공면에 pickling 현상을 일으키며, open grain structure의 양을 가진다.

같은 장입재료라도 납과 기타 원소의 감소는 전기로보다 cupola에서 더 크게 일어난다. 그러므로, cupola에서와 같은 조성의 장입재료를 사용할때, cupola에서 전기로 용해로 전환하면서 납으로 인

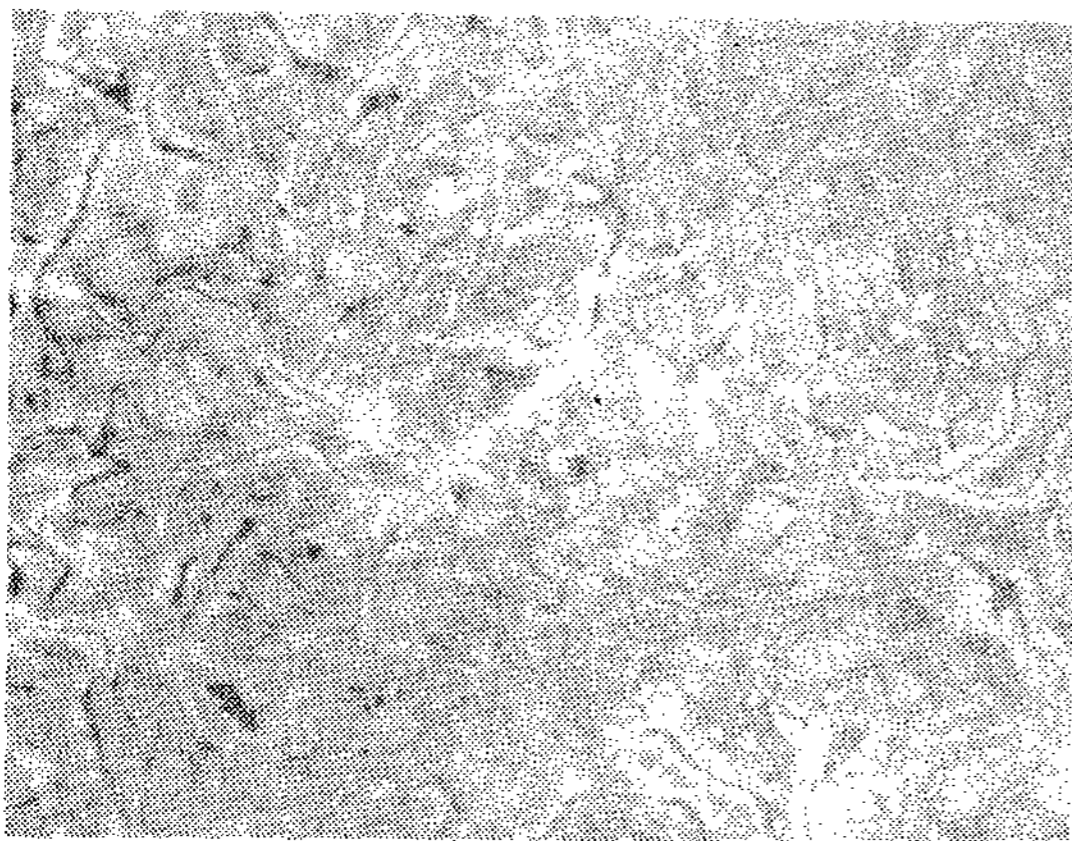


그림 6. Structure of grey iron with a low lead content, <0.0002% lead, etched in 4% picral. ×100

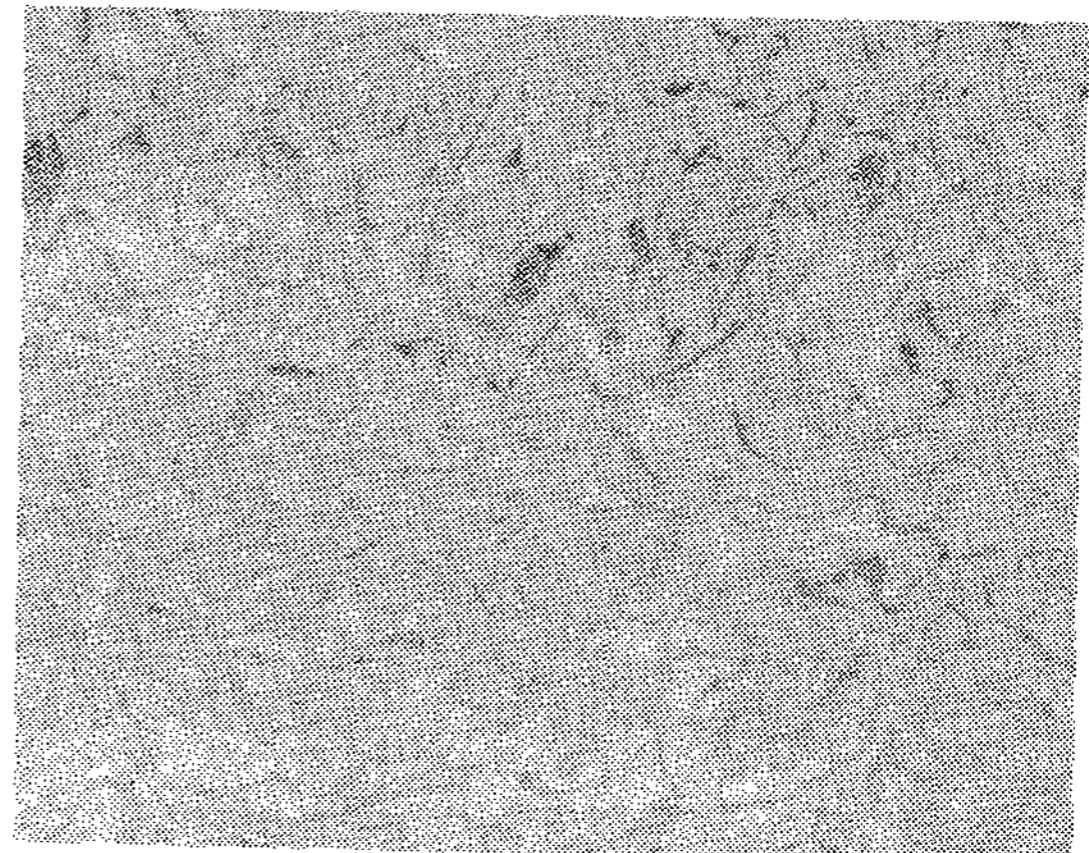


그림 7. Structure of grey iron, Identical to Fig. 7 but containing 0.004% lead. Etched in 4% picral. ×100



한 문제를 여러주물 공장이 경험하는 것은 흔히 있는 일이다.

Cupola에서 전기로로 바꾸었을때 같은 재료를 사용하여도 오염의 정도가 다르다는 예가 있다. Cupola의 평균 납 함량은 0.0004%이었으나, 유도로는 0.002%까지 증가하였다. 이경우의 납의 주된 근원은 파쇄장에서 오는 페인트 도장된 강고철이었다.

실제로 용해, 보온중의 납의 손실은 용해로와 조업방법에 의한다. 작은 코일형 유도로는 표면적/체적 비가 높으므로 교반작용에 의하여 납함량은 감소될 수 있으나, 인위적인 교반등에 의하여 이를 감소시킨다는 것은 정당화 될 수 없다. 또한 납은 수직 channel로 에서는 Inductor에 악영향을 미친다. 납이 내화물에 침투하면, 납이 함유되지 않은 고철로 용해된 용탕도 이로부터 계속 오염될 수 있다.

## 2) 알루미늄(Al)

0.004%이상의 Al이 회주철이나 가단주철에 존재할때, 주형에서의 수분, 증기 또는 젖은 내화물로부터, 주물에 pinhole이나 갈라짐결함(fissure)을 가져올 수 있는 정도까지 수소증가를 촉진한다. 만일 납이 존재하면, 수소는 비정상 흑연조직을 촉진하고 강도에도 간접적인 영향을 미칠수 있다.

Al에 의한 주철의 오염은 강고철, 주물고철의 Al 성분 및 Fe-Si에서 일어난다.

Fe-Si은 2%이상의 Al을 함유할 수 있고, 용해중에 Si함량을 올리기 위하여 필요로 하는 Fe-Si 합금량에 따라 다르지만, Al의 중요한 공급원이 되고 있다. 많은 고철을 장입하여 다량의 Fe-Si이 필요할때, 0.04%나 되는 Al이 Fe-Si에 의하여 용탕에 함유될 수 있다.

이러한 환경에서는 1%이하인 저 Al의 Fe-Si을 사용하거나 Al이 없는 SiC를 사용하는 것이 좋다. 350 kg 고주파로에서 한시간 동안 0.008%로 Al가지는 용탕을 1480°C에 보온하면 0.005%로 감소하게 된다. Al의 감소는 이중 용해에서도 일어날 수 있다. 열풍 cupola에서 용해된 주철은 통상 0.009내지 0.013% Al으로 오염되나, 40톤 보온로에서 이중 용해후 Al의 수준은 0.005%까지 떨어졌다.

Cupola용탕의 간헐적인 높은 Al함량에 기인하는 회주철 주물의 핀홀 문제는 대형 보온로의 설치로 완전히 극복된 실례가 있다.

## 3) 질소(N)

주철의 질소함량은 0.004-0.015% 사이에서 변동

한다. 질소는 흑연형상을 개선하고, pearlite형성을 촉진하여 편상흑연에 이로운 영향을 주며, 결과적으로 인장강도 증가를 가져온다. 흑연형상은 끝을 둥글게 하던가 흑연 편상을 몽글게(Compact 형태)하므로 개선될 수 있다. 이들 조직은 주의 깊은 조직학적인 준비작업과 고배율의 현미경시험에서 볼 수 있다. 이 조직상의 특징은 고강도와 저강도 주철 사이의 유일한 감지가 가능한 차이점일 수 있다. 그러나, 0.0085%이상에서는 충분한 Ti이 존재하여 N의 일부를 중화하지 못하면 갈라짐결함을 촉진한다.

질소가 인장강도에 미치는 영향은 함유된 질소의 정도에 의하여 어느정도 조절될 수 있다. Ti은 질소와 결합하여 시안화 티탄을 형성하고, 이 때문에 중화효과를 갖게된다. 질소가 높아 잔금결함을 초래하는 환경에서는 질소를 약간 신중하게 첨가하여 얼마의 질소를 중화하고 잔금결함 생성을 억제할 수 있다.

질소 전부를 중화할 만큼의 과도한 첨가는 피할 것이고, 다른 점에서는 현저한 강도감소를 가져온다. Al도 N의 중화효과가 있으나 수소 핀홀에 미치는 영향으로 보아 주의깊게 첨가한다하여도 추천할 만한 방법은 아니다.

용해설비와 장입재료의 형상도 주철의 질소 함량에 영향을 미치게 된다. Cupola용해에서 고철의 다량사용은 높은 질소함량을 가지는 주철을 만들게 된다. 강고철의 질소 함량이 높을 수록 주철의 질소함량이 높아진다는 약간의 증거가 있다. 그러므로, 전기로에서 질소함량이 높은 강고철을 다량사용하는 결과로 고질소 주철이 생산될 수 있다.

그러나, 전기로 용해에서 질소가 높아지는 것은 일반적으로 질소함량이 높은 가탄제에 기인한다. 고순도 흑연은 0.005내지 0.05%정도의 낮은 함량이나, 석유계나 야금용 코크스는 0.5내지 1.0%의 질소를 갖는다.

Davison 은 cupola 에서 유도로로 바꾸고 나서 매우 큰 주물에서 심한 질소의 잔금결함을 경험하였다고 한다. 이때 2.4%질소의 자연산 흑연을 사용하였으나, 저질소 흑연을 바꿈으로서 전기로 용탕에서 건전한 주물이 만들어 질수 있었다.

여러가지 주철의 질소함량은 장시간 보온하는 동안 평형에 이를때 까지 증가하였거나 감소한다. 탄소당량이 낮으면 질소의 평형함량은 높아지고 높은 CE에 대하여는 그 반대다. 1,500°C에서 소형유도로에 0.0075%의 질소를 갖는 3.8%C와 1.4%Si의 주

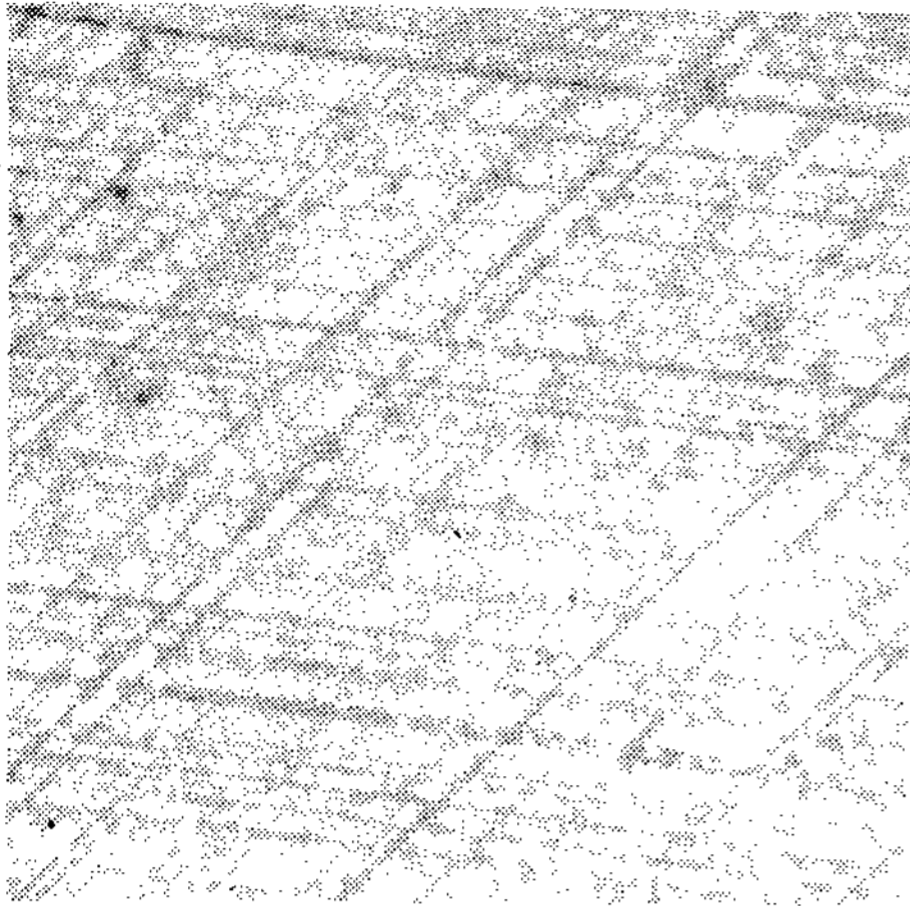


그림 8A . containing  $<0.0002\%$  lead.

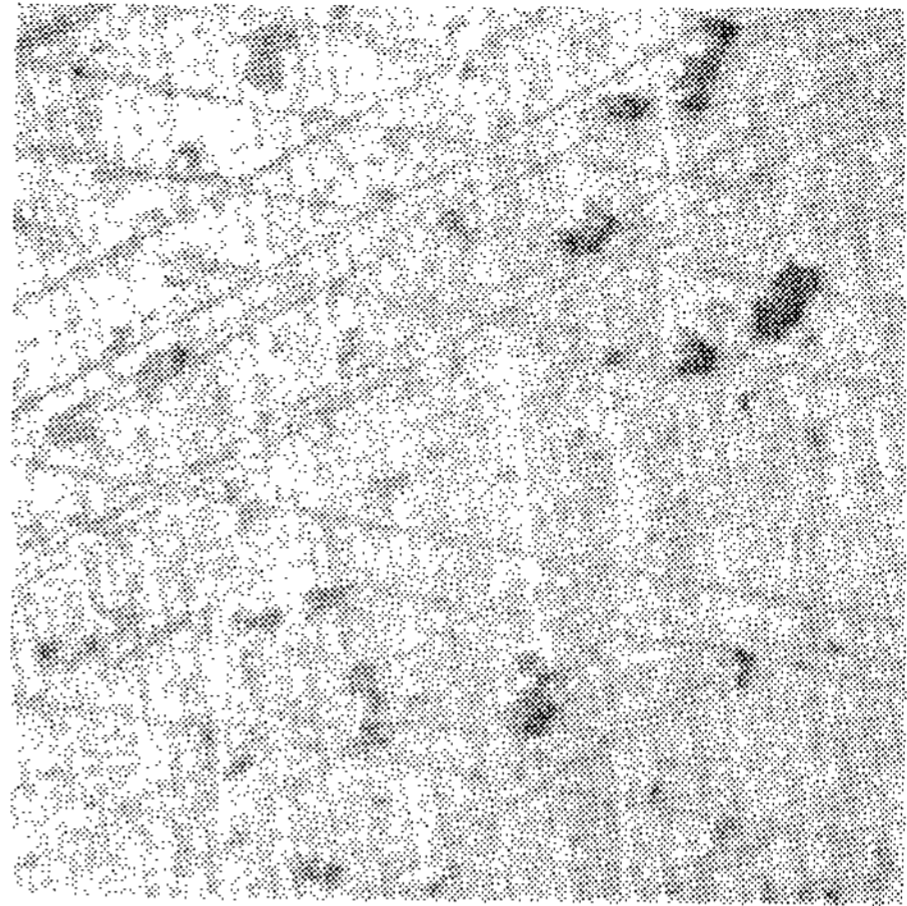


그림 8B . containing spiky graphite due to  $0.002\%$  lead content.

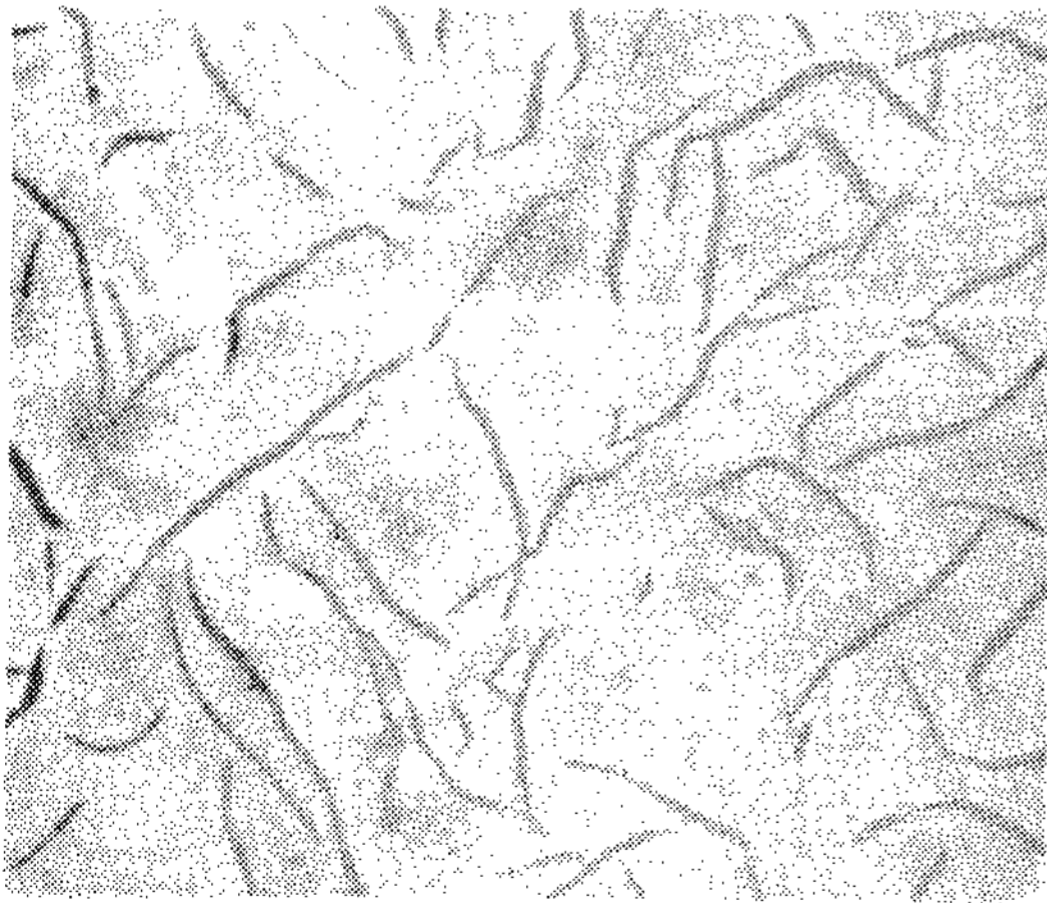


그림 8C. graphite structure of Casting 9A.

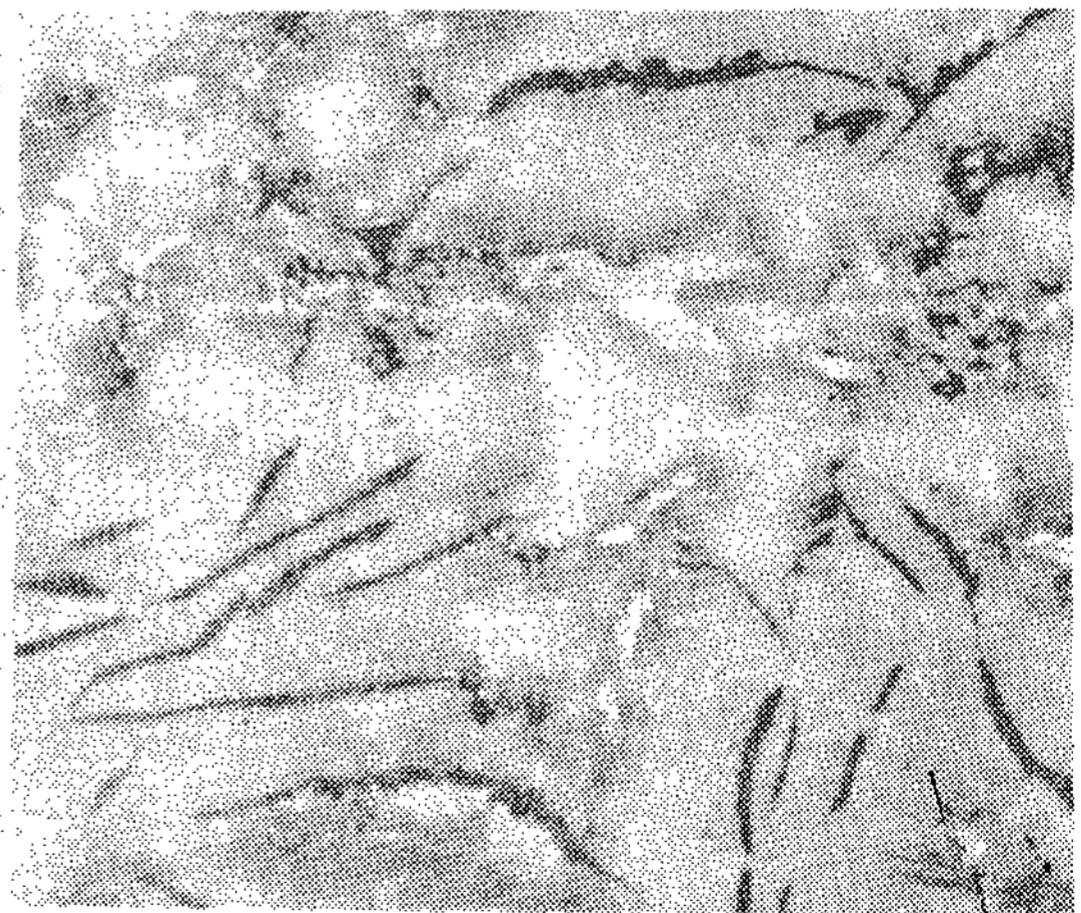


그림 8D. spiky graphite structure in Casting 9B, containing  $0.002\%$  lead. Etched in  $4\%$  picral.  $\times 200$

그림 8. Honed surface of grey iron castings, showing severe plucking of surface B.

철을 보온한 결과 2시간에 0.004까지 N를 감소시켰으나 기타 비슷한 기본성분의 저탄소 주철은 같은 조건에 보온하였을때 0.0065%정도이었다. 그림 9에 이 결과를 보여준다.

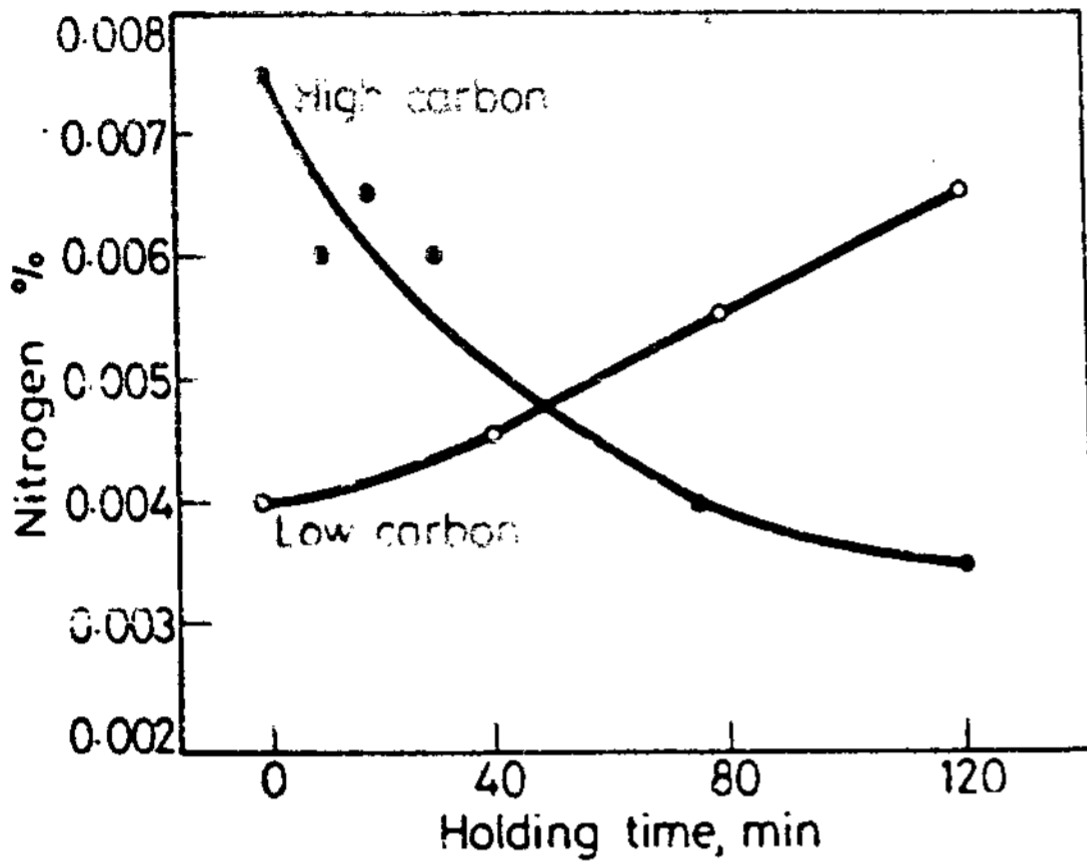


그림 9. Changes in nitrogen content on holding at different carbon contents.

CE 4.2의 주철이 30톤 보온로에서 12시간 보온되었을때 질소는 0.004내지 0.005%이었다. 용해중 어느때는 질소함량은 가탄제의 첨가로 0.007%까지 상승하였으나, 그후 2시간의 보온하였을때 0.0045%N의 본래 평형치를 갖게 되었다. 강고철을 다량 배합한 cupola용탕에서 비슷한 결과를 가져오는 것으로, 0.0115%의 질소가 40톤 보온로에서 계속 이중 용해될때 표 3과 같이 0.009%까지 감소하였다.

이와같이 질소의 감소는 강도와 경도에 상당한 영향을 미치게 된다. 용탕을 장시간 보온하면 N의 감소와 함께 핵생성정도도 내려가게 된다. 따라서, 과냉흑연이 형성되고 ferrite가 나타나게 된다. 핵생

성 감소와 관련되는 조직의 변화와 함께 질소의 감소는 인장강도를 낮추어 187N/mm<sup>2</sup>에서 113N/mm<sup>2</sup>에 이른 경우를 예로 들고 있다.

4) 수소(H)

수소는 용해과정중 용해재료의 수분, 내화물, 노내분위로부터 용탕에 쉽게 흡수된다. 증가되는 정도는 주철의 기본조성, 특히 Al 함량에 따른다.

용탕중에 용해된 수소는 약간의 탄화물 촉진작용을 가져서, 그림 10, 11에서와 같이 백선화를 증가시키게 되며, 불균형의 S함량일때는 역철에 작용하게 된다.

이런 환경에서는 조대한 편상흑연의 형성을 촉진한다. 보다 높은 함량에서는 핀홀이나 잔금결함을 주물에 만들어 줄 수 있다. 주형에서 부터 수소증가가 일어난다면 역시 핀홀이 발생된다.

주철조직에 미치는 수소의 2차적인 영향은 미량 존재할때의 납의 악영향을 현저하게 자극하는 것이다. 일반주철의 시험에서 유도로 주철의 수소함량은 평균 1.1 PPM이고 이에 비하여 cupola 주철은

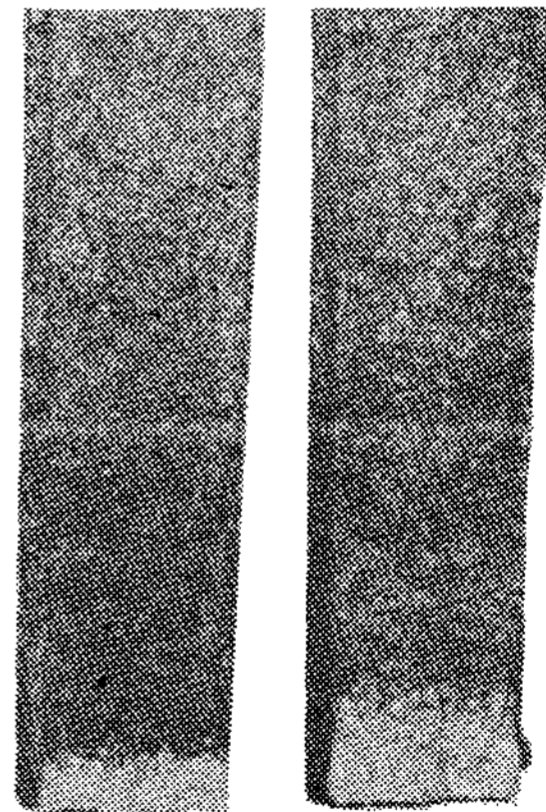


그림 10. Increased chilling tendency due to high hydrogen content.

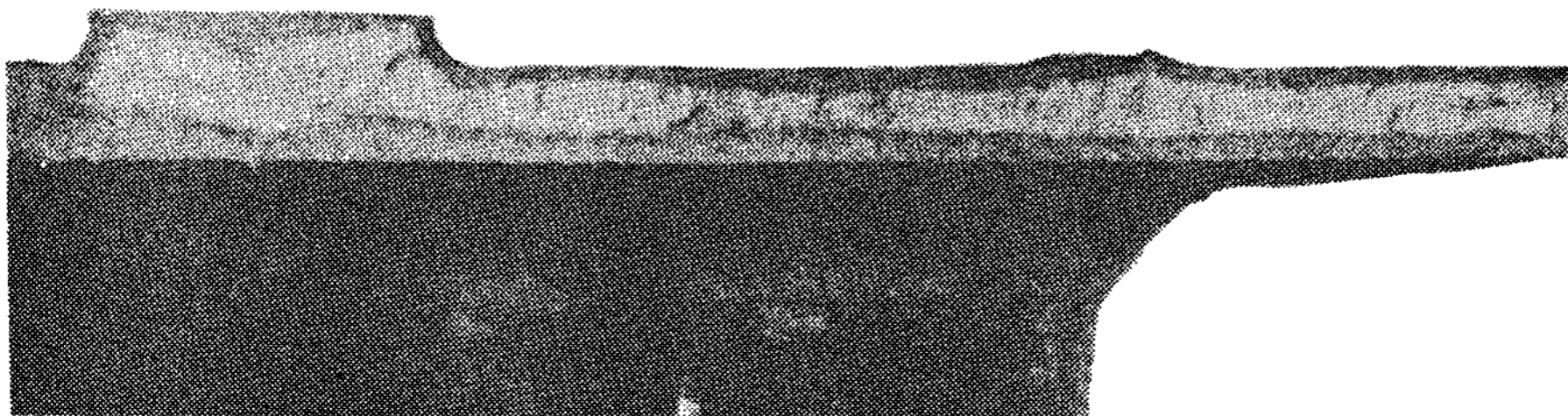


그림 11. Inverse chill due to high hydrogen content in the presence of sulphur insufficiently balanced by manganese.



1.7PPM이다.

수소함량은 용해초기에는 어느 경우의 용해로이든 최고치에 이르나, 용해중에 점차 감소하는 경향이 있다. 용해초기의 높은 수소량은 장입재료의 수분에서 온다. 깨끗하고 건조된 강고철 장입재료의 사용시, 소형 유도로에서 용해가 끝났을 무렵의 주철의 수소함량은 0.6에서 0.9 PPM사이에 있었으나, 저품질의 강고철로서는 용락시점의 수소는 2.4 PPM이 나왔고, 1시간 보온후 0.7 PPM으로 감소하였다.

표 2는 수소함량 변화예를 보여 준다.

표 2. Changes in lead and hydrogen contents during holding of grey irons in 30-t vertical channel furnaces at different

Time after 1st tap	Plants A		Plant B	
	Pb %	H, p.p.m.	Pb%	H, p.p.m.
1st tap	0.002 )	1.9	0.0008	1.7
1 hour	0.001 )	1.3	0.0007	1.3
2	0.003 )	1.1	0.001	1.3
3	0.002 )*	1.2	0.001	1.1
4	0.003 )	1.2	0.001	1.1
		←		
5	0.002 )	1.9	0.0009	1.1
6	0.002	1.2	0.001	1.3
7	0.002	1.3	0.001	1.2
8	0.002	1.3	0.001	1.2
9	0.001	1.2	-	-
10	0.001	1.4	-	-

\* Returned scrap being added during this period.

← 0.08% carbon added.

### 핵생성 정도와 칠

주철의 핵생성정도는 주물의 품질과 특성에 깊은 영향을 가진다. 핵생성정도는 흔히 현장에서 칠시험(chill test)으로 개략적으로 평가되지만, 용해작업과 접종 같은 용탕처리에 의하여 크게 영향받을 수 있다.

핵생성정도가 낮으면, 특히 모서리 부분에 주철이 희게 응고하는 경향이 있으며, 역시 미세한 과냉흑연조직을 촉진하여 ferrite를 생성하고 결과적으로 강도와 경도의 감소를 가져오게 된다. 한편, 핵

생성이 높으면 임의의 방향의 편상흑연을 촉진하고, 강도를 높이며, 백선생성 경향을 감소시킨다. 한편 핵생성이 지나치게 발달된 주철은 우수한 특성을 가지는 반면, 주물은 내·외부 수축결함을 보여주기 쉽다.(그림 12,13 참조)

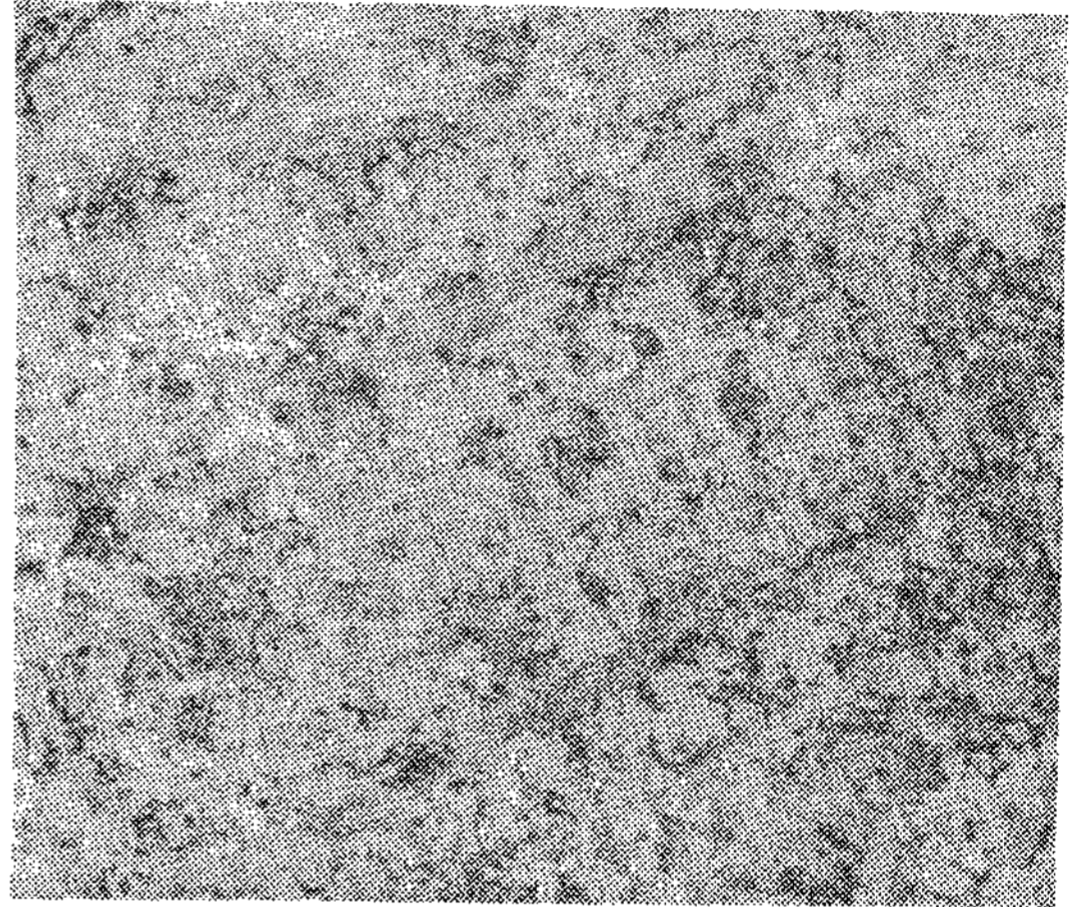


그림 12. Structure of poorly inoculated grey iron, Etched in 4% picral, ×100

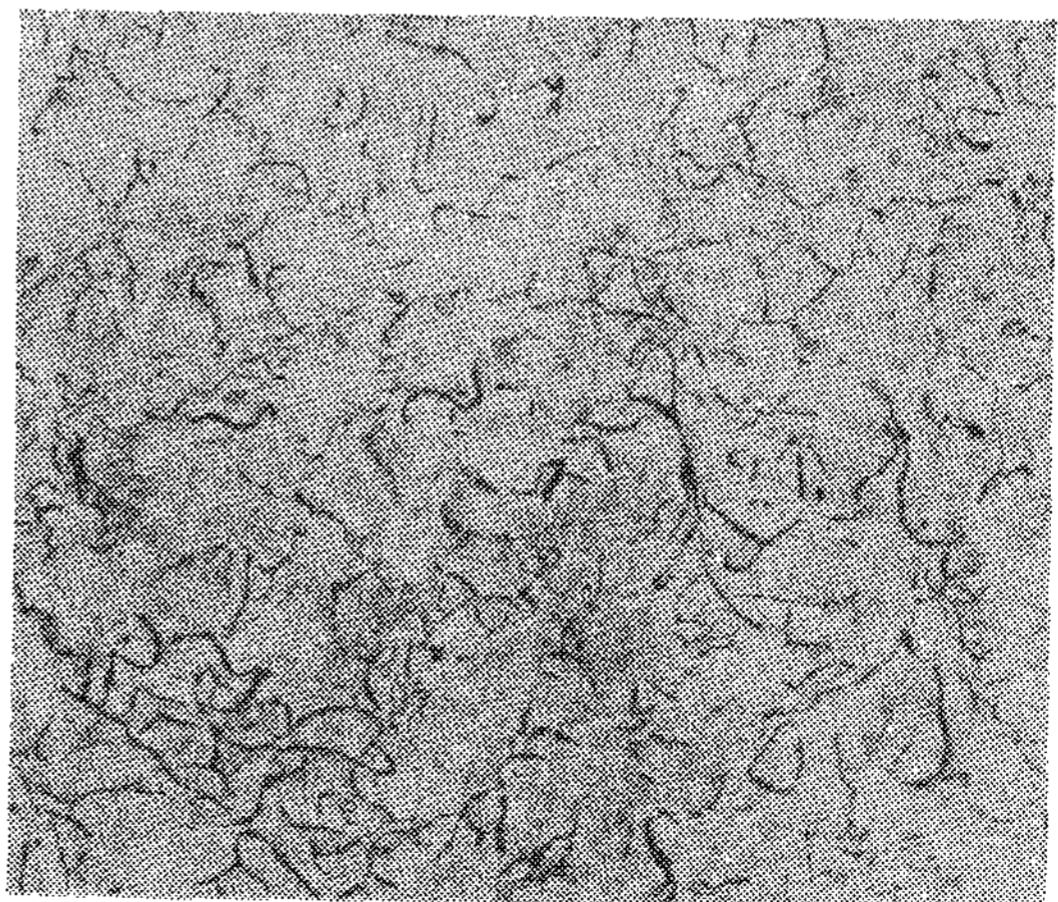


그림 13. Structure of well-inoculated grey iron, Etched in 4% picral, ×100

표3. Changes in aluminum and nitrogen contents on duplexing cupola-melted iron through a 40-t channel furnace

Aluminium %		Nitrogen %	
Cupola	Channel	Cupola	Channel
0.009	0.005	0.0110	0.0090
0.010	0.005	0.0115	0.0090
0.009	0.005	0.0110	0.0090
0.009	0.005	0.0105	0.0090
0.010	0.005	0.0110	0.0095
0.013	0.005	-	-
0.011	0.005	-	-

전기로 용해와 보온은 핵생성정도에 상당한 영향을 미치며 주로 노의 형태와 조업방법에 좌우된다. 과열온도와 보온시간을 증가시키면, 어느 경우든 소형유도로에서 핵생성을 감소시킨다. 그러나, 대형철심로에서는 핵생성은 거의 일정한 상태로 남아 있다. 30톤로에서 출탕-장입 연속방식으로 조업될 때, 핵생성은 5시간의 조업중 80-120 cell/cm<sup>2</sup>의 범위이었고, 출탕만 하여 용탕높이가 낮아지게된 추가의 4시간 동안 핵생성은 80-90 cells/cm<sup>2</sup>사이에서 변동하였다.

10시간의 출탕기간동안 용탕의 추가공급 없이 조업하는 비슷한 공장에서는 핵생성은 130에서 60cells/cm<sup>2</sup>까지 점차 감소하였다.

대형의 철심 보온로에서는 노가 잘 밀봉되고 성분의 변화가 일어나지 않으면, 핵생성의 별변동없

이 상당기간 보온될 수 있다. 10톤 철심로에서 15일간 보온된 용탕이 그 기간중에 핵생성정도를 90 cells/cm<sup>2</sup>에 유지하였다. 이때 용탕의 백선화 경향은 별로 심한 변동은 없었고, 주형에 주입전에 단지 정상적인 수준의 접종만이 요구되었다.

전기로에서 용탕의 정상조정을 위하여 필요한 소량의 첨가물질은 핵생성에 상당한 영향을 미치며, 어느정도 첨가는 다른것보다 훨씬 많은 영향을 미친다. Fe-Si의 첨가는 핵생성에 현저한 효과를 가지며, 0.35%첨가로서 핵은 120에서 300 cells/cm<sup>2</sup>까지 증가하였으나, 10분내에 그 정도는 첨가전의 수치로 감소하였다. Fe-Si의 소량첨가는 chill을 15mm에서 4mm로 감소시키는 효과를 가지며 30분간 유지후 그림 15에 보여주는 것 처럼 거의 첨가전 수준인 15 mm까지 증가하였다.

아주 소량의 고순도흑연(전극질) 첨가는 핵생성정도에 영향을 미치며, 0.15%첨가로서 2톤 무철심로에서 핵생성 정도가 90으로 부터 130 cells/cm<sup>2</sup>까지 증가하고, chill은 14mm에서 7mm로 줄었다. 30분 후에 핵은 90 cells/cm<sup>2</sup>로 떨어지고, chill 깊이는 10 mm로 증가하였다. 그와 같은 첨가는 수축경향을 상당히 증가하나, chill 형성가능성은 감소한다. (그림 14, 15 참조)

같은로에서 0.4%의 SiC첨가는 chill깊이의 현저한 감소는 있었으나 핵생성에 측정할만한 효과는 없었다. 아마 C와 Si함량의 증가 결과인 것으로 간주된다. 소량첨가가 철과핵에 미치는 영향을 표 4에 보여준다. 노의 형식과 조업방법의 차이는 핵에 영향을 미치고 따라서 백선화 경향, 인장강도 및 경도의

표4. Changes in eutectic-cell number and chill depth due to trimming additions of different materials in a 2-t coreless furnace

Time of taking sample	Trimmed with 0.15% graphite		Trimmed with 0.35% Fe Si		Trimmed with 0.4% silicon carbide	
	eutectic cells/cm <sup>2</sup>	forced chill depth, mm	eutectic cells/cm <sup>2</sup>	forced chill depth, mm	eutectic cells/cm <sup>2</sup>	forced chill depth, mm
before addition	90	14	130	15	155	10
5 min after	130	7	300	4	155	3
15 min after	120	9	140	8	90	6
30 min after	90	10	60	15	-	-

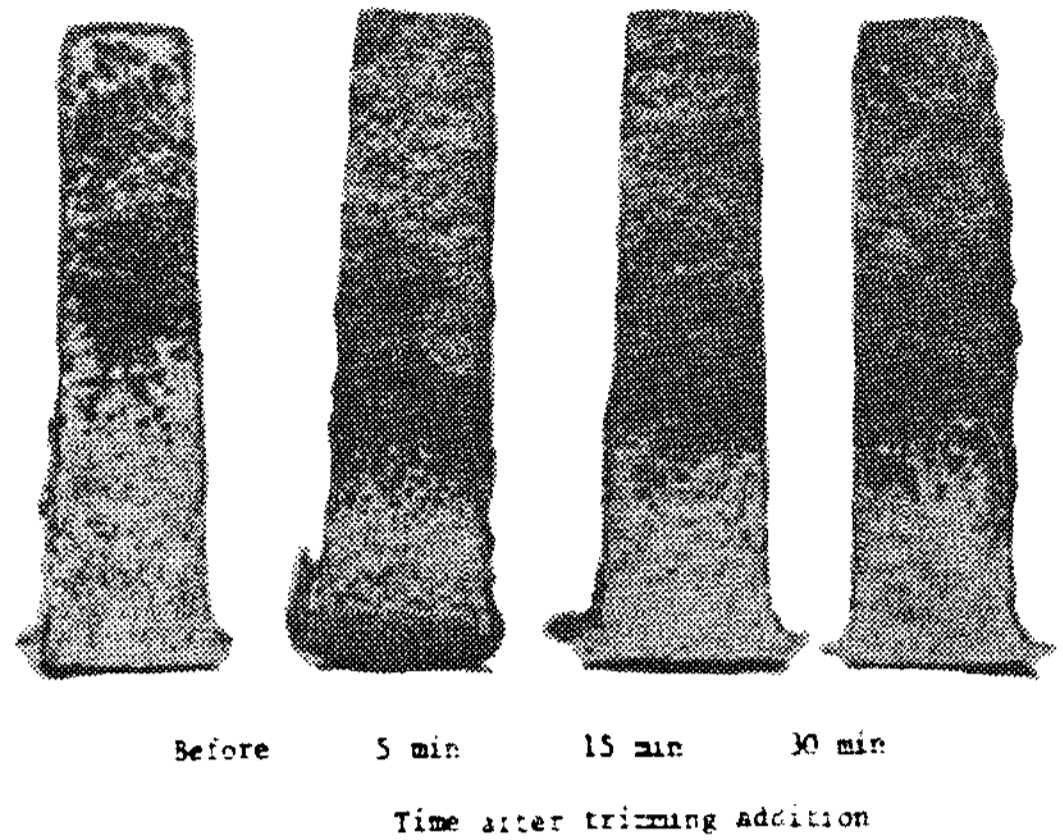
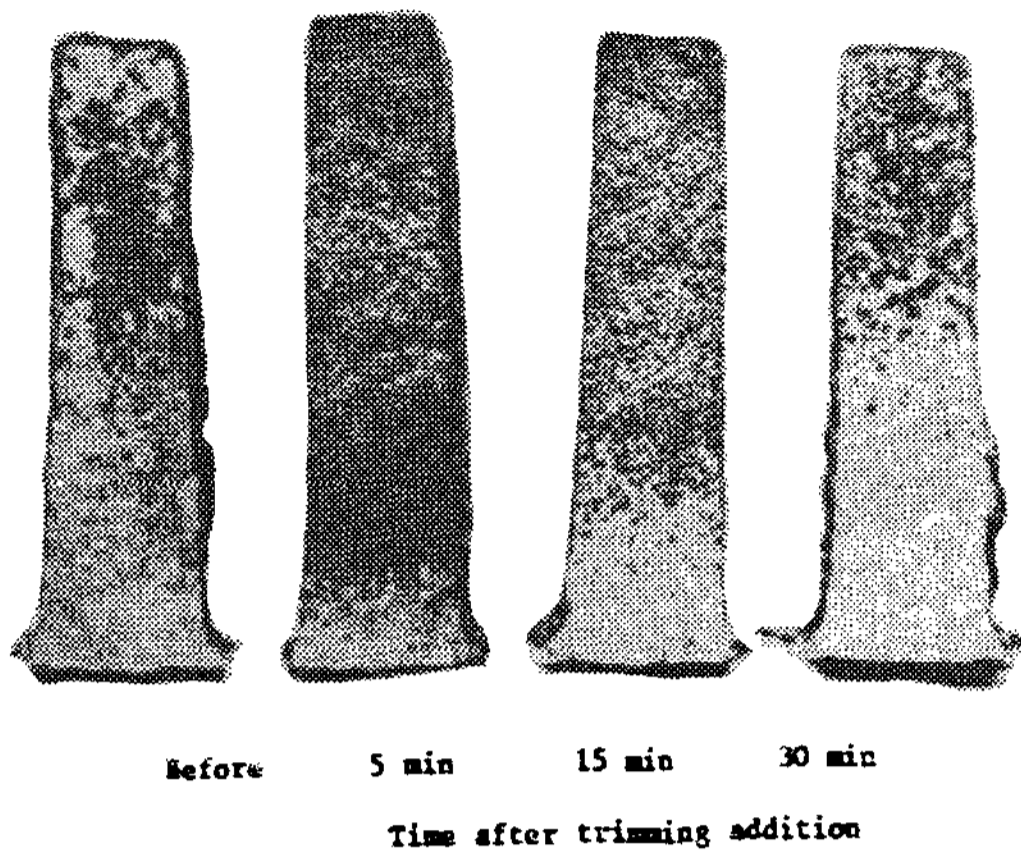


그림 14. Effect of trimming addition of 0.35% FeSi, and subsequent holding, on chilling-tendency.

그림 15. Effect of trimming-addition of 0.15% graphite, and subsequent holding, on chilling-tendency.

변화, 또한 주물의 건전성을 가져다 준다. 핵생성의 변동을 최소화하기 위하여 용해조업을 특히 보존시간 및 과열온도중에 일정하게 유지하여야 한다.

역시 용해와 보존작업 중에는 첨가가 행해지는 시간에 유의하여 조업하는 것이 중요하나, 용탕조성이 일정하면 노전 chill 시험은 핵생성정도를 지시하는 유일한 현장시험으로, 칠 시험은 훌륭한 품질관리 방법으로 간주되어야 한다.

### 결 언

원재료 선정과 노조업에 철저한 주의를 기우리면, 유도로의 용해보온은 일관성 있는 조성의 주철을 생산할 수 있다. 유도로는 기본조성이 동일한 주철을 얻기 위한 원재료 사용에 있어 상당한 신축성을 가지며, 사실상 얼마간의 시간이라도 높거나 낮은 온도에 용융금속을 유지할 수 있는 능력이 있다. 유도

로를 다른 설비와 비교할때 신축성은 중요한 장점인 반면, 미량원소, 질소 및 핵생성에 영향을 미치며, 이들은 개별적으로 또는 복합적으로 얻어진 주물의 품질에 중요한 영향을 가지게 된다. 따라서 같은 기본조성이 주철에 현저한 차이를 가져오는 것이다.

동일한 기본조성의 주철에 특성상 여러가지 차이가 있을때 이 차이는 주철의 미량원소들, 질소함량 또는 핵생성정도의 변동에 의하여 일반적으로 설명될 수 있다. 유도로의 장점을 최대화 하기 위하여 미량원소와 기본조성의 신속한 분석을 제공하는 현대적인 분석설비의 지원과 함께 야금학적인 관리가 기본적인이다.

이와 같은 분석, 관리는 물론, 작업자는 모든 유도로 용탕의 특성을 잘 이해하도록 함으로써 고급의 품질과 제품의 일관성을 보장할 수 있을 것이다.