

技術資料

金 型 鑄 造

권 해 옥

Permanent Mold Casting

H. W. Kwon

1. 서 언

1-1 금형 주조법의 특징

금형 주조법은 사형 주조법과 여러가지 면에서 유사하다. 예를 들면 금형 주조시 사형의 코어(core)를 사용하기도 하며 또한 사형 내에는 종종 금속제 칠(chill)을 사용하기도 한다. 금형은 중력의 작용으로 용탕을 채우는 금속제의 주형을 의미하며 주물의 윤곽과 성질을 얻는 데 기여한다. 금형 내의 금속제 부분과 모래 또는 세라믹(ceramic)재료로 제작된 부분의 조합으로 복잡한 모양의 주물을 제작할 수 있는 금형 주조법은 대부분의 경우에 적용할 수 있고 다른 주조법에 비하여 수축에 대한 장애를 잘 피할 수 있으며 형의 수명을 증가시킬 수 있다.

주물의 응고 속도를 조절하기 위하여 금형의 표면에 라이닝(lining)을 하기도 하며 또한 용착을 방지하기 위하여 이형제를 도포한다. 도형제는 용탕의 작용과 기체에 의한 부식으로부터 주형을 보호하여 수명을 연장시킬 수 있으며 또한 금형 내의 열용력을 감소시킨다. 두꺼운 라이닝층은 금형의 열부하와 주물의 응고 속도를 현저하게 감소시키며 주물의 응고시 혹은 방출시 까지 주형의 온도 변화를 크게 감소시킨다.

라이닝층의 두께가 너무 두꺼우면 그 특징상 주형이 금형에 속하는지 사형에 속하는지 판단하기가 어렵다. 그리고 이 점은 도형제와 라이닝제의 두께 및 주물의 두께에 따라서도 달라진다. 근사적으로는 도형제 및 라이닝제의 두께가 주물의 특성 치수(평면 벽 두께의 반, 원기둥 및 구형 주물의 반경)보다 작을 경우를 금형으로 간주한다. 이 조건은 주

물의 형성시 열적 특성에 대한 금형의 영향에 대한 관계로부터 결정되었다. 금형 내의 주물의 냉각속도는 금형 재료의 성질에 따라서 달라진다.

1-2 금형 주조법의 장점과 적용 범위

금형 주조법은 전통적인 주조법에 비하여 명백한 장점이 있기 때문에 널리 채용되었다. 그 주된 장점은 주조 과정과 주물의 품질에 있다. 생산성의 향상은 주형의 반복 사용, 노동 생산성의 증대, 경비 절감, 주물의 정밀도 향상 및 용탕의 급속 냉각에 의한 주물의 품질 개선 등의 장점에 기인한다. 주물 불량품의 감소와 정밀도의 향상이나 가공비의 감소로 인하여 제조 공정의 효과를 증대시킨다.

1-2-1 주형 재료의 소비량 절감

사형의 전체 또는 일부를 금형으로 치환하면 주형 재료의 소비량을 절감할 수 있다. 이 경우에는 주형 재료의 입수와 조제에 필요한 비용이 감소하며 1회 형이 반복 사용형으로 바뀔뿐 아니라 주물공의 노동 조건이 현저하게 개선되며 환경 오염도 감소하는 잇점이 있다.

1-2-2 결함 발생 원인의 감소

주형은 주물과 복잡하게 작용한다. 금형의 장점은 그 상호 작용의 특성이 사형에 비하여 안정되고 있는 데 있다. 따라서 주물의 결함을 발생시키는 제어 곤란한 인자가 훨씬 적다.

1-2-3 주물의 품질과 합금의 성질

금형으로 주조한 합금은 사형으로 주조한 합금에 비하여 응고 조건으로 인하여 금속의 밀도가 높고 기계적 성질이 좋다. 그러나 주철의 경우는 예외이다. 금형 주철 주물은 그 특수한 응고조건으로 인하여 제품의 성질에 악영향을 미치는 탄화물과 페라

이트(ferrite)-흑연 조직이 생긴다. 예를 들면 금형 주물의 내마모성과 인성 및 기타의 성질은 사형에서 제조한 주물에 비하여 더 나쁜 경우가 많다. 물론 이런 성질들을 향상시킬 수 있으며 금형에서 제조한 주물은 원칙적으로 정밀도 및 표면이 양호하고 사후 가공이 매우 용이하다.

1-2-4 생산성의 증대

금형 주물을 생산할 때에는 사형 주물 생산 시에 필요한 주형의 제작, 주형재료의 조제 및 탈사의 과정을 완전히 생략하거나 감소 시킬 수 있다. 또한 기계 가공 시에도 노동 생산성이 현저하게 향상된다.

1-2-5 기계화 및 자동화

금형은 높은 강성과 강도, 충분히 높은 정밀도와 치수의 안정성 및 각 부분의 접합의 정밀도와 신뢰성 등의 면에서 사형 보다 우수하다. 금형 주조에서는 품질 관리를 위하여 고려하여야 할 인자가 사형 주조 보다 적다. 예를 들면 전자에서는 수분, 내화도 및 기체발생도 등의 인자가 근본적으로 의미가 없다. 이런 점은 생산 공정의 기계화와 자동화에 좋은 조건이며 기계화 및 자동화된 금형 주조법은 최신의 사형 주조법과 경쟁이 가능하다.

1-2-6 기본 투자비의 감소

같은 양의 주물을 생산하기 위하여 필요한 생산 면적은 금형 주조법이 사형 주조법 보다 훨씬 적다. 그것은 배합사 제조와 탈사 작업장 등을 위한 공간이 폐지 또는 축소될 뿐만 아니라 주형의 조립이나 응고 등에 필요한 시간이 단축되기 때문이다. 금형 주조법을 도입함으로써 단위 생산 면적 당 생산고가 2~4배로 증가한 예도 있다. 따라서 금형 주조 공장이나 작업장 건설에 필요한 기본 투자비는 그만큼 감소한다.

1-2-7 기술 인원 양성의 촉진

금형 주조의 경우에는 가공 작업이 많이 간단해지거나 배제하기 어려운 결함 발생 원인이 감소하기 때문에 주물공의 양성이 용이하다. 예를 들면 숙련 주물공의 양성에는 보통 수 년이 걸리는데 비하여 숙련 금형 주물공이 되기 위해서는 기껏해야 수 주간 혹은 2~3개월의 기간으로도 충분하다.

1-2-8 제조 원가의 절감

주형을 반복하여 사용하며 그에 따른 주형 제작비의 감소로 인하여 주물의 제조 원가는 현저하게 감소한다. 불량율이 낮고 주물의 품질이 향상되고 기본 투자비와 금형 소모량이 절감되는 점 등이 원가의 절감에 기여한다.

금형 주조법은 이상과 같은 기술적 그리고 경제적인 특징과 장점이 있으며 탄성 주철, 인성 주철, 알루미늄, 마그네슘 및 동합금의 주물 생산에 적용할 수 있다. 경우에 따라서는 강이나 가단주철의 금형 주조도 가능하다. 여기에서는 금형 주조법에 의한 여러가지 주철주물의 제조에 대하여 고려해 보고자 한다.

금형 주조법으로 제조한 주물은 간단한 판재, 봉재, 블록(block) 및 슬라브(slab)형으로부터 복잡한 모양의 크랭크(crank), 실린더 헤드 블록(cylinder head block) 및 모터(motor)의 리브(rib)부의 하우징(housing)에 이르기 까지 매우 다양하다. 금형 주조법으로 또한 특수한 성질-높은 기밀성, 내마모성(예를 들면 표면 및 국부의 탄화물을 갖는 주철 주물) 및 내산화성 등을 갖는 제품을 생산할 수 있다. 특히 강조되는 점은 금형 주조에 의하여 매우 중요한 역할을 하는 각종 제품을 생산할 수 있다는 점이다.

2. 회주철의 주조

2-1 주조성

2-1-1 점도 및 표면장력

주조용 합금의 점도와 표면장력은 응고 중의 압탕이나, 두껍거나 얇은 주형공간의 충전 또는 사형 주물의 주형-금속 간 상호 작용 등에 영향을 미친다. 예를 들면 점도는 중심 다공질 부의 폭과 좁은 공간을 통과하는 용탕의 양 및 압탕의 작용 범위를 결정하기 때문에 크게 영향을 미친다. 용탕의 표면장력에는 모세관 압력이 관계가 있다.

아공정, 공정 및 과공정 합금에서는 점도는 온도가 증가함에 따라서 감소한다. 순철의 경우에도 마찬가지다. 주철 중에 함유된 주요 원소의 영향을 보면 아공정영역 내에서는 탄소와 인이 점도를 감소시키고 공정 영역의 함유량을 넘으면 규소와 황 및 탄소가 점도를 증가시킨다. 회주철의 표면장력은 0.7~1.1N/m의 범위이고 온도 상승과 탄소 함량의 증가에 따라서 감소한다.

2-1-2 유동도

아공정 주철에서는 탄소 농도가 증가함에 따라 유동도가 증가하고 과공정 주철에서는 역으로 감소한다. 탄소의 영향은 인의 함량이 증가함에 따라서 더 커진다. 규소와 인은 유동도에 근본적으로 영향을 미치며 이 원소들이 증가함에 따라서 유동도는 증가한다. 보통 금형 주조법으로 제조하는 제품의 함량 정도의 망간과 황은 근본적인 영향을 미치지 않는다.

금속의 유동도는 온도가 상승함에 따라서 증가한다. 유동도에 미치는 금형의 영향을 보면 금형의 초기 온도와 라이닝 두께가 증가함에 따라서 그리고 열전도도가 감소함에 따라서 증가한다. 이와 같은 결과는 스파이랄 (spiral) 주형의 주입 시험으로도 알 수 있다.

라이닝 금형에 주조하는 경우 라이닝 두께의 영향은 비교적 작다. 라이닝의 열적 특성 중 중요한 것은 열용량이다.

2-1-3 수축율

주철의 성질은 화학적 조성, 냉각 속도 및 상변태에 영향을 미치는 인자에 따라서 달라진다. 주철의 수축율은 흑연화 원소의 함량이 증가할수록 감소한다. 흑연화를 방해하는 원소는 수축율을 증가시킨다.

금형 주조의 경우 합금의 전수축율은 사형 주조의 경우 보다 크다. 이는 회주철의 경우에도 마찬가지다.

금형 주조에 의한 주철 주물의 수축율은 다음과 같은 식으로부터 근사적으로 계산할 수 있다.

$$\epsilon = 1.75 - 0.24C - 0.65C_{\text{graphite}} - (a+b)\% \quad (1)$$

여기에서 C와 C_{graphite}는 전탄소와 흑연의 함유량, %, a와 b는 각각 주물의 공역 요소와 사형 코어에 의한 수축에 대한 제동에 따라서 다른 상수이다. 상수 a는 주물의 구조에 따라서 다르고 0.2~0.4의 범위이고 b는 보통 0.15~0.25 정도의 값이다.

흑연화에 의한 변화는 응고가 진행되는 동안 진행된다. 편상 흑연 주철에서 수축공이 생기는 경향이 적은 것은 이때문이다. 즉 응고시 생성하는 흑연이 팽창하여 수축을 보상한다.

아공정 주철은 공정도가 증가함에 따라서 주물 내의 수축공이 생기는 경향은 감소하나 어느 부분에 집중하여 생기는 경향은 역으로 증가한다. 또한 금형 내의 냉각 조건으로 인하여 수축성결함이 분

산하여 생기는 경향은 감소한다.

다른 주조 합금에 비하여 주철은 비교적 수축율이 작다. 따라서 금형 주조법으로 여러가지의 두께가 두껍고 중량이 크고 모양이 복잡한 회주철 주물을 주조할 수 있다. 이 경우에는 금속제의 코어를 사용한다.

2-1-4 내균열성

주물의 응력, 변형 상태와 균열 발생의 위험성은 금속의 수축에 관계가 있다. 주조 합금의 내균열성은 塑性과 응력에 의한 변형의 온도에 대한 관계를 비교하여 평가할 수 있다. 주철의 균열발생 경향은 탄소와 규소 함량이 증가함에 따라서 급격히 감소한다. 환상 시편의 금형 주조에 의하여 얻은 시험 결과에 의하면 0.5~0.9%까지 망간의 함량이 증가하면 주철의 내균열성은 증가한다. 그 이상으로 망간의 함량이 증가하면 오히려 감소한다.

인의 함량이 0.2%에서 1.1%까지 증가하면 유효 정출 영역 (effective liquidus-solidus temperature range) 하부 온도 영역 (약 1220°K)에서 주철의 연성이 증가하며 이로부터 내균열성의 향상이 예측된다. 인의 함량이 0.2%일 때 주철의 균열 발생 경향이 제일 크다. 내균열성은 인의 함량이 0.2% 이하로 매우 낮아지면 증가하며 이것은 정출 영역의 감소로 설명할 수 있다. 인의 함량이 0.8% 이상으로 증가하면 주물내의 냉간 균열이 발생할 위험이 커진다.

금속제 코어를 사용하는 경우에는 주철 주물의 벽 두께가 얇을 경우 주물의 표면에 칠이 생길 염려가 있고 이는 수축에 의한 균열 발생을 조장한다. 이는 생성하는 시멘타이트 (cementite)의 취성이 매우 크며 수축율이 비교적 크기 때문이다. 주철 주물의 주조시 칠부가 형성하지 않도록 하는 것이 주물의 내균열성을 향상 시키는 데 도움이 될 것이다.

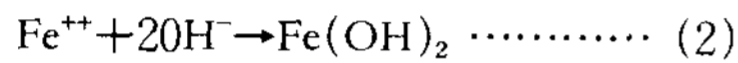
2-1-15 기체 및 비금속 개재물에 의한 결함

기체 및 비금속 개재물에 의한 결함발생 경향은 금형 주조의 경우가 사형주조의 경우 보다 적다. 이것은 금형 내에서의 결함 발생 원인이 사형 내에서 보다 훨씬 적기 때문이다. 또한 이 결함들에 대한 장입원료, 용해 및 주입등의 다른 발생원인의 금형 주조의 기술적 특징과 관련이 적다.

용융금속의 냉각 특히 응고시 주물 내의 기체 성분의 용해도는 감소한다. 따라서 금형으로 주입되는 금속이 기체 발생원이 된다. 이에 의한 발생

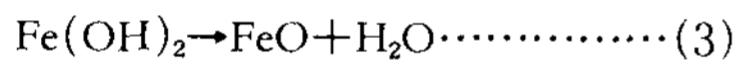
가능성은 금속의 기체 포화도에 관계가 있다. 금속 내에서 기체의 분리과정은 냉각속도와 압력에 따라서 달라진다. 주물의 냉각속도가 증가하면 기체는 분리되지 않고 금속 내에서 용해상태로 남는다. 그리고 주철의 주조시 금형의 표면에 흡착된 수분이나 금형 라이닝의 파괴결과 생기는 산화 생성물과 금형의 공간 내에 존재하는 공기가 기체 결합의 주요한 원인이 된다.

주철제 금형 내의 철과 시멘타이트(cementite)는 국부적으로 미세 전지를 형성하여 철이 양극(anode) 그리고 시멘타이트가 음극(cathode)의 역할을 한다. 습한 분위기에서는 미세전지가 잘 형성한다. 철 원자가 2개의 전자를 잃어 양이온(Fe⁺⁺)이 된다. 흡착 수분이 약한 전해질로서 해리하여 수산화 이온(OH⁻)을 형성하여 다음의 반응을 일으킨다.

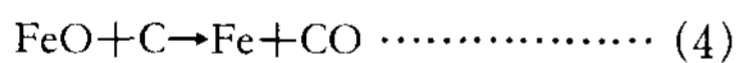


오랫동안 상용된 금형의 표면층 내에서는 약 50%의 수산화 이철(Fe(OH)₂)을 발견할 수 있다. 수산화 이철은 습한 분위기에서 수산화철(Fe(OH)₃)로 산화되고 동시에 수소이온은 유리기체 수소로 환원된다. 이것이 주철내의 수소 발생의 원인이 되기도 한다.

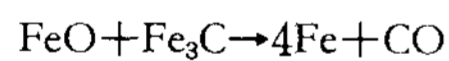
또한 수산화이철은 다음의 반응으로 분해된다.



산화제1철은 다음과 같은 반응으로 일산화탄소를 형성시킨다.



그 밖에 다음의 반응도 가능하다.



금형 라이닝이 가열 됨에 따른 기체발생은 라이닝의 조성과 라이닝 조건에 따라서 달라진다.

주철 내의 비금속개재물은 외부에서 들어오거나 금속중에 존재하는 기체와 불순물의 상호 반응에 의하여 형성한다. 금형 주조의 경우에는 응고속도가 크기 때문에 불순물의 생성량이 감소하여 개재물의 방지가 비교적 용이하다.

2-1-6 미세 조직

금형주조의 경우 냉각 속도가 빠르며 따라서 흑연화를 감소시키고 펄라이트의 양과 분산도를 증가시켜 흑연의 크기를 미세화하여 회주철의 기계적 성질을 개선 시킨다. 그러나 냉각속도가 크고 일정한 화학 성분을 가지는 주철에서 단면상 불균일하기 때문에 불균일한 조직이 형성할 가능성이 있다.

금형에 주입한 주철의 제일 큰 특징은 주물표면에 백선철 조직의 형성에 의한 철이 존재한다는 점이다. 냉각속도가 크면 조직내에 탄화물(Fe₃C)의 석출은 조장하고 따라서 철이 발생할 가능성이 크다. 금형주조의 경우 주철주물의 철을 방지 하는 것이 중요한 기술적 문제이다.

금형 주조 주물에 있어서는 다음과 같은 조직이 형성하는것은 매우 나쁘다. 즉 외층에 펄라이트+시멘타이트, 그 뒤에 페라이트+흑연, 중심부에 펄라이트+흑연. 특정한 경우에는 주물의 외층에 페라이트+흑연조직이 생기고 내층에 펄라이트+흑연조직이 형성한다. 냉각속도가 큰 부분에서 페라이트+흑연조직이 생기는 것은 비정상 조직으로 생각된다. 그러나 이것은 펄라이트 변태에 의하여 오스테나이트가 완전히 분해한 후 페라이트가 석출하는 분산성 공정흑연(과냉흑연)이 생길 전제 조건이 된다. 미세조직중 페라이트-흑연의 존재는 내마모성 및 강도등의 성질을 크게 저하시킨다. 그러나 경우에 따라서는 페라이트-흑연 조직은 유익하고 주물의 가공성을 개선시키며 또한 기밀성을 높이고 경우에 따라서 열적 내구성을 향상시키는 역할을 한다. 페라이트-흑연 조직의 형성 조건에 대해서는 연구가 불충분하고 그 방지나 흑연 형성의 안정성을 위하여 조직 형성과정을 제어하는것은 극히 복잡한 문제이다.

금형 주조의 경우 적합한 주철조직(주물의 사후 열처리를 배제하고 약간의 시멘타이트를 함유한)을 얻으면 사형주조의 경우보다 훨씬 주물의 기계적 성질이 높고 기밀성이 크다. 또한 금형 주조한 주철의 성질은 주강이나 조강의 성질과 같은 정도로 까지 높힐 수 있으며 그 제조공정은 보통 50%까지 줄일 수 있다.

2-2 금속의 제조

주철의 탄소와 규소 함량을 증가 시키면 주물의 과냉을 방지하고 균열이 발생하는 경향을 감소시킬 수 있다. 그러나 규소의 함량이 2.5%보다 많고 동시에 응고 속도가 크면 주철내에 탄화규소(SiC)상이 형성한다. 또 규소함량이 3.2%이상으로 많으면 용탕의 유동도가 저하한다.

철이 생기는 것을 근본적으로 방지하기 위하여 용탕을 점종처리한다. 점종을 하면 용탕내에 흑연의 핵이 많이 생기고 유해 불순물의 영향을 중화시

킨다.

접종제의 탄소함량이 많을 때에는 페로세륨(ferrocium)을 추가로 첨가한다. 이렇게 하면 초정 흑연의 형성을 촉진한다. 접종제의 양은 보통 용탕 중량의 0.4%이하로 한다. 접종제는 또한 펄라이트 변태에 영향을 미칠 뿐아니라 용탕의 정련작용도 한다. 1380°C에서 첨가한 규소는 반 이상이 주철 용탕 내에 용해되어 26%가 탈산을 그리고 17%정도가 탄화규소의 형성을 야기시킨다. 칼슘과 세륨은 주로 금속중에 용해되어 산소 및 황과 반응한다. 알루미늄의 79%는 산화되며 탄소의 대부분은 용액중으로 이동한다.

용탕을 접종하면 합금의 과냉을 감소시켜 철의 깊이를 감소시킨다. 과냉을 감소시키는 원소가 철의 형성을 방지할 수 있는 접종제라 할 수 있다. 접종제는 흑연의 핵 생성을 촉진하고 임계 과냉의 범위를 넓히는 역할을 잘 하는 것이 요청된다.

앞에서 주철의 비정상 조직을 검토하였다. 이 조직의 형성을 방지하기 위하여 다음과 같은 데이터(date)를 기준으로 할 수있다. 즉 펄라이트 조직을 확실하게 형성시키기 위한 방법으로는 특수 접종과 합금화(미량합금과 원소도 포함)법이 있다. 주물의 전체 단면적이 펄라이트 조직을 효과적으로 형성시키기 위한 방법으로는 안티몬을 첨가하는 방법이 있다. 페라이트-흑연조직의 형성을 방지하기 위해서는 주석을 0.15%까지 첨가할 필요가 있다. 안티몬은 주석에 비하여 훨씬 효과적인 펄라이트 안정화 원소이다. 주철내에 펄라이트 조직을 얻기 위해서는 0.05~0.1%의 안티몬을 첨가하면 충분하다.

3. 구상흑연 주철의 구조

3-1 구조성

3-1-1 점도 및 표면장력

용탕의 점도는 상태도에서의 위치에 관계없이 마그네슘과 세륨의 영향으로 감소한다. 용탕의 온도가 감소하면 점도는 증가한다. 점도는 또한 탄소함량이 증가하거나 일정한 온도에서 유지하면 증가한다. 이것은 용탕내의 접종제의 함량의 감소 때문이다.

주물 용탕의 표면장력은 마그네슘과 세륨으로 처리하면 50~60%정도 증가한다.

3-1-2 유동성

주철의 유동에 미치는 마그네슘의 영향에 대해서는 異論이 많다. 구상흑연 주철의 유동도에 미치는 금형의 초기온도, 주입온도, 금형 라이닝의 두께 및 용탕 조성의 영향은 회주철의 유동도의 경우와 비슷하다.

3-1-3 수축율

구상흑연주철의 전체 수축율은 기지금속의 조직이 회주철의 경우와 대개 비슷하다. 수축율에 대한 화학적 조성과 냉각속도의 영향은 흑연의 모양에 따라서 달라지지 않는다. 구상흑연주철의 응고범위(liquidus-solidus temp. range)의 영향은 회주철의 경우와 같다.

3-1-4 내균열성

구상흑연주철은 회주철보다 열간균열이 발생하는 경향이 더 작다. 그리고 모양이 극히 복잡한 주물의 경우에는 구속이 강한 조건하에서 응고가 진행된다 균열이 발생할 위험이 큰 온도범위는 응고가 진행되는 온도보다 낮은 온도의 범위이다. 또 주물의 벽 두께가 증가함에 따라서 열간균열이 발생할 위험성은 감소한다.

그러나 구상흑연주철은 회주철보다 냉간균열이 발생하는 경향이 한층 더 크다. 냉간균열의 발생에 영향을 미치는 인자중에서 특히 중요한 것은 비교적 높은 탄성계수와 낮은 열전도도이다. 이 인자들은 인성이 큰 구상흑연주철의 내균열성을 감소시킨다.

3-1-5 기체와 비금속 개재물에 의한 결함

기체에 의한 결함은 회주철과 구상흑연주철은 비슷하다. 구상흑연주철 주물에서는 비금속 개재물인 드로스(dross)가 형성한다. 드로스를 화학적으로 분석하여 보면 마그네슘과 황의함량이 평균치에 비하여 매우 높다. 이로부터 구상화 처리시 나타나는 황화마그네슘(MgS)으로 생각되었다. 이는 또한 주철 중 황의 함량이 감소하면 드로스의 양이 감소하는 것으로도 입증된다. 그러나 황화마그네슘 이외에 산화마그네슘(MgO)도 존재하는 것이 이후에 알려졌다.

황화 개재물의 형성은 구상화 처리과정에서 완료되고 또한 용탕중의 황의 함량에 따라서 달라진다. 황화마그네슘은 주철보다 밀도가 훨씬낮다. 따라서

황화개재물은 주철중에 황의 함량이 낮은(0.01%이하) 플럭스(flux)에 의하여 슬래그(slag)중에서의 황화물의 치환반응으로 제거할 수 있다. 금형내의 경우와 같이 주철의 냉각속도가 크면 황화마그네슘은 주물내에 전체적으로 분산된다. 이것은 파면상에 독특한 암회색으로 나타나고 설퍼 프린트(sulfur print)에 의하여 검출할 수 있다.

산화 개재물은 주철의 벽 두께가 얇은 경우에도 존재한다. 이 개재물은 주물의 강도, 연성 및 기밀성을 떨어 뜨린다. 산화물은 용탕의 표면에서 생기고 또한 금형 내의 용탕이 이동할 때 전체적으로 생긴다. 먼저 표면에서 얇은 산화물층이 형성하고 용탕이 흐를때 소용돌이에 의하여 파괴되어 주물의 몸체속으로 유입된다. 그 크기는 10분의 몇 μ 에서 몇 mm의 범위이다. 황화 개재물은 산화물과 반응하여 이 경우에는 설퍼 프린트로 검출된다. 산화물막이 파괴된 조각의 형성은 마그네슘을 함유하고 있는 주철의 산화성과 관련이 있다. 주철중 이 개재물의 발생 경향은 온도와 마그네슘의 함량에 따라서 달라지며 금속 중의 마그네슘의 함량이 많을수록 발생온도는 높다. 용탕이 발생온도 보다 높게 가열이 되면 산화물은 열역학적으로 발생하기 어렵게 된다. 산화 개재물의 형성을 하기 위해서는 구상흑연주철 용탕의 산화를 방지하여야 한다.

구상흑연주철의 다른 비금속 개재물로는 흑연 부유물(graphite floatation)이 있다. 이것은 다른 비금속 개재물과 같은 방식으로 주물의 상부 표면층에 분포한다.

3-1-6 미세 조직

구상화 처리를 한 주철의 응고 및 냉각속도가 클수록 흑연 입자는 점점 작아지고 구형의 모양이 한층 더 뚜렷해 진다. 따라서 금형주조의 조건은 구상흑연주철을 제조하기 위한 좋은 조건이다.

흑연을 구상화 시키기 위하여 용탕을 충분한 양의 구상화제-마그네슘 및 세륨-로 처리하면 냉각속도를 증가 시킨다. 또한 금속이 급속히 냉각되면 금형에서 얻은 구상흑연주철 주물의 표면에서 15~20mm두께의 층에 급냉효과가 일어난다. 따라서 이경우에 열처리를 하여야 한다.

3-2 금속의 제조

금형 주조용 구상흑연주철은 보통 다음과 같은

조성이다. 3.2~3.5% C; 2.8~3% Si; 0.6~0.9% Mn; 0.12% P이하; 0.12% S이하(구상화처리 전). 구상화 처리후 구상화제의 함유량은 0.03~0.08% Mg 또는 0.02~0.05% Ce의 범위내에 있어야한다. 이 이상으로 구상화제의 함유량이 많으면 금속의 취성이 커진다. 단 탄소는 상한으로 유지한 경우이다.(이 경우에는 회주철과 달리 높은 기계적 성질이 보증되고 또 주조성이 개선된다). 구상흑연주철 주물의 조직은 보통 규소의 양을 변화시켜 조절한다. 그런데 규소 농도가 3%이상으로 증가하면 취성이 커지므로 유의하여야 한다.

오토 클레이브(auto clave)처리실에서 마그네슘으로 주철을 처리하는 방법이 금형주조에서 가장 널리 실용화 되고 있는 방법이다. 그러나 구상화 처리 전 주철의 황의 함량이 0.12%이상인 경우에는 나트륨으로 처리한다. 주철 중량의 0.17~0.25%에 해당하는 마그네슘을 레이들에 첨가한다. 또한 구상화 처리전에 0.05~0.1%의 빙정석을 첨가한다. 오토 클레이브 처리실 내의 압력은 구상화제를 첨가 하기 전에 온도에 따라서 달라지며 대체로 다음과 같다.

표1. 오토 클레이브실내의 압력

레이들내의 용탕온도, OK	1630 이하	1670~1650	1650~1670	1670~1690
압축기압 kg / cm ² 이상	5.0	5.6	6.4	7.3

마그네슘 첨가후 금속을 레이들에서 교반한다. 접종제는 마그네슘 첨가시 또는 그 후에 용탕내에 첨가한다.

4. 가단주철의 제조

4-1 제조과정의 특징

가단주철을 얻기위한 백선철은 회주철에 비하여 주조성과 유동성이 떨어진다. 수축율은 약 2배정도 크고 균열발생의 경향도 높다. 금형주조에 의한 가단주철의 제조의 난점은 바로 이런점 때문이다.

가단주철의 제조는 우선 복잡한 모양의 얇은주물-중량이 작은 격자형 주물로 국한된다. 대다수의 이런 구조의 주물은 금형주조법에 의해서는 비생산적이다. 이 경우 주물의 응고속도의 증가에 의하여

용탕 흐름이 불량하고 균열 발생의 확률이 커진다. 가단주철은 회주철보다 높은온도에서 주형에 주입하고 따라서 주형 수명에 영향을 미친다. 이상의 사항은 대개 가단주철에 대한 금형의 적용에 있어서 부정적인 인자이다.

양질의 가단주철 주물을 얻기 위해서는 주조조직 내에 유리탄소가 없어야 한다. 금속의 성분중 흑연화제(탄소와 규소)의 함량이 낮아야하고 주물의 벽두께는 너무 두껍지 않아야 한다. 주물의 응고는 금형 내에서가 사형 내에서 보다 훨씬 빠르게 일어나기 때문에 금형 주조시 주조조직에 흑연이 생길 염려가 적다. 따라서 가단주철의 주조시 비교적 대형의 주물을 제작할 수 있을뿐 아니라 금속중 탄소와 규소의 총합유량을 높힐수 있다. 이 경우 주철의 주조성에 좋은 영향을 미치고 흑연화 어닐링을 간단하게 하여 기계적 성질을 개선하는 특수원소를 첨가할 수있다. 백선철의 조직을 미세화 하면 열처리 시간을 단축시키고 가단주철의 성질을 향상 시킬 수 있다.

때에 따라서는 금형주조에 의하여 표면에 가단주철조직과 중심부에 회주철 조직을 갖는 특수 주물을 얻을 수 있다. 이런 주물의 제조기술은 보통 가단주철 주물의 제조보다 간단하며 제품의 표면층은 강도, 밀도와 내마모성이 크다. 이런 종류의 주물은 기계부품의 소재로 이용되고 또 금형용 소재로도 사용 가능하다. 이것은 열피로 강도가 높고 파괴가 일어날 확률이 보통 주철보다 적다. 주물의 화학적 조성이 동일하고 동일한 조건에서 열처리 하는 경우에 금형에서 얻은 주물금속이 사형에서 얻은 금속보다 성질이 좋다.

가단주철은 금형주조법으로 생산할 때 기계화 수준을 높이면 경제성이 있다. 현재 가단주철 주물은

고도로 기계화 되었고 고도의 기술수준을 가진 대량생산 공장(예를 들면 자동차 공장, 농기구 공장등)에서 보통 사형을 사용하여 제작하고 있다.

4-2 열처리 조건과 조직의 조절

가단주철을 얻기 위하여 백주철 주물을 흑연화 열처리한다. 금형주조는 열처리 조건에 원칙적으로 영향을 미치지 않으나 약간 개선시킨다. 예를들면 금형주조의 경우에 흑연화 과정을 단축시킬 수 있는 좋은 조건이 얻어지고 열처리 시간의 단축과 온도의 변화가 가능하게 된다. 금형주조한 가단주철 주물의 조직내에는 비교적 미세한 탄화물이 보이고 흑연화 과정이 촉진된다. 금속성 규소의 함량이 높으면 시멘타이트의 분해를 용이하게 하며 규소함량이 증가함에 따라서 탄소의 석출량이 증가하여 그 크기가 감소한다.

그러나 사형주조에서는 백주철 조직을 얻기 위하여 탄소(2.2~2.9%)와 규소(1.7%이하)의 함량을 감소시켜야 한다. 벽두께가 15mm이상인 주물은 탄소와 규소의 총 함량이 비정상적으로 적어서 벽두께 전체에 걸쳐서 칠조직을 얻는것은 불가능하다. 금형주조의 경우에는 벽 두께 15mm이하의 주물에서 탄소를 3%까지 규소를 4%까지 증가시킬 수 있다.

금형주조의 경우 응고시 과냉도가 높아 흑연화를 촉진하는 흑연화 접종제를 첨가할 수 있다. 따라서 조직을 조정하기 위한 합금화와 미세 합금화를 할 수 있다. 예를 들면 흑연입자주위에 형성하는 페라이트를 억제하기 위하여 접종재로서 안티몬을 첨가할 수 있다. 또한 크롬의 함량을 증가시켜 가단주철의 기계적 성질을 개선할 수 있다.