

기술자료

CUPOLA 용해를 이용한 Pearlitic Malleable Iron(Armasteel)의 주조와 열처리기술

윤재상[†]

(주)NVF생산이사

Cast & H/T of Pearlitic Malleable Iron (Armasteel) with Cupola Process

Jae-Sang Yoon[†]

New Venture Foundry Co. Ltd, 363-6 Namyang-dong, Chinhae-Si, Kyungnam, Korea

1. 서론

기존 구상흑연주철이나 단조품으로 생산되어 사용되었던 동력 전달 부품을 열처리 소입성, 고강도 내마모성, 절삭성이 우수한 Armasteel(FCMP)이라는 새로운 재질의 신가단 주철 개발의뢰가 들어와 2000년부터 2년간에 걸쳐 시험주조와 자체 개발을 완료하여 Transmission부품을 생산하여 전량을 GM에 수출을 하고 있다.

당사는 1977년부터 흑심가단주철로 관이음쇠를 생산하고 Pearlitic가단주철(FCMP55)을 생산하여 국내자동차업계로 공급을 하였으나, 본 재질 개발초기에는 후유주물의 난제인 Mottle, Crack 조직불량, 내부결함등 주조와 열처리에서 발견되는 문제로 애로사항이 많았다.

계속된 연구와 개선작업을 통해 기존의 소재보다 우수한 Armasteel소재 개발하는데 성공하였다.

주조시 안정적이고 많은 량의 용탕이 필요하고 저렴한 원가로 생산하기 위하여 당사가 보유하고 있는 10Ton/Hr Cupola를 이용하게 되었다.

Cupola로 Armasteel과 회주철, 구상흑연주철을 용해를 해야 함으로 주요 용해원자재인 강고철 회수철, 선철, Fe-Si의 조절과 Coke를 이용하여 재질별로 Cupola내의 베드 코우크스높이를 조절하는 방법을 채택하였고, 열처리는 연속식 열처리로를 도입하였다.

현재는 디젤 실린더 블록의 Piston을 D社로 부터 개발의뢰를 받아 진행을 하고 있으며 향후 수입대체효과와 국내 개발엔진

에도 적용을 할 수가 있어 그 개발 사례를 소개하고자 한다.

2. 제조공정

FCMP의 제조공정은 주조에서는 백선상태의 주물을 제조하고, 열처리를 하여 Tempered Martensite와 Pearlite 혼합조직과 괴상흑연을 가지게 하여 주물의 잇점과 Quenching 및 Tempering 공정에서 다양한 물성치를 조절 할 수가 있고 뛰어난 내마모성과 내충격성을 가진 소재를 생산할수가 있다.

특히 사용자가 요구하는 Spec은 종전에 당사에서 생산하던 FCMP55와는 또 다른 엄격한 기준을 요구함으로 용해, 주입 및 열처리에서 새로운 방법을 채택하여야 했다. Armasteel(이하 가단주철로 칭함)의 Spec과 다른재질과의 비교를 Table 1, 2에 나타내었고, Table 3은 당사의 개략적인 생산공정을 나타내었다.

Table 2. Armasteel 과 다른 재질과의 비교표

구분	인장강도 (Mpa)	항복강도 (Mpa)	연신율 (%)	경도 (HB)
흑심가단주철 (FCMB)	275~363	167~216	>5.0	<163
Pearlitic가단주철 (FCMP)	440~690	265~510	>2.0	149~285
구상흑연주철 (FCD)	363~686	235~481	>2.0	179~269
Armasteel	>690	550	>2.0	217~255

Table 1. Armasteel 의 Spec

구분	인장강도	항복강도	연신율	경도	Rim	흑연 형상	흑연 입수	흑연 크기	흑연 분포	입상 Ferrite	층상 Pearlite	조정 Carbide	Bainite	기지 조직
단위	Mpa	Mpa	%	HB	mm	-	Ea	-	-	-	-	%	-	-
Spec	>690	550	>2.0	217~255	<1.3	>6	50~150	1~5	1~4	없을것	없을것	<3	없을것	Tempered Martensite

[†]E-mail : jsyoon@yeonghwa.co.kr

"본 기술자료는 2006년도 한국주조공학회 춘계 학술발표 및 기술강연대회에서 발표된 기술상 수상기념강연임."

Table 3. 가단주철의 제조공정

공정명	제조설비
용해	10Ton Cupola, 25Ton 홀딩로
조형	GF Air impact 조형기, DISA 230C
주입	GF 5 Ton주입기, ABB 5 Ton주입기
탈사	연속탈사기
Annealing, Quenching, Tempering	LOI 연속열처리로(500 Ton/월)
연마	
자탐	연속자탐기
방청, 포장	방청기

2.1 용해

주조품은 기지조직을 백선조직(Ledeburite조직)으로 만들어야 하기 때문에 일반 주물에 비하여 낮은 CE%(2.77~3.17CE%)로 용해를 하기위하여 고철사용량이 증가되며 또한 열처리시 악영향을 미치는 성분(Cr, Te)도 규제가 되어야 하므로 용해재료 자체가 엄선되어야 하고 용해온도도 일반주물보다 높은 온도를 요구한다. 그러므로 일반 주물공장에서는 고주파 유도로를 이용하고 있으나 당사에는 10 Ton/HrCupola를 이용하여 용해를 하고 있다.

통상 회주철용해작업을 하면서 가단주철용해 시작전 5~6 Hr 전부터 Bed Coke보정을 위한 추가 Coke장입을 중단하여 Bed Coke높이를 조정한다. 이때 부터는 풍압의 변화를 주의 깊게 관찰한다.

가단주철용해철 장입후부터는 열풍온도를 450°C에서 200°C로 낮추어 탄소,실리콘의 흡수율을 낮춘다.

2.1.1 가단주철의 Cupola용해 출탕성분

Cupola용해의 특징은 로내의 용해대에서 용해된 용탕이 Bed Coke층을 통과하면서 가탄이 되는 것이므로 과잉의 가탄이 되는 것을 방지해야 하고, 낮지만은 안정적인 Bed Coke층을 유지함으로써 환원용해를 할 수가 있다. S%는 가단주철에 있어서 매우 중요한 흑연화 원소이다. 이는 열처리시간을 단축시키고 흑연입수를 많게 하지만 0.15% 이상은 역효과를 나타내므로 적정량을 유지를 한다.

Si은 열처리성을 향상시키고 흑연입수를 많게 하나, C과 마찬가지로 주조시 Mottle을 유발시키므로 과잉의 Si%는 주의해야 한다.

P와 Cr은 열처리 작업성을 극히 저하시키므로 용해시 가장 주의를 해야하는 원소로 엄선된 강고철을 사용해야 한다. 당사에서 실시하고 있는 가단주철 용해성분을 Table 4에 나타내었다.

FC용해작업 중 가단주철 용해작업을 하기 위하여 장입비를 변경시킨후 약 1시간 정도 지나면 가단주철의 C% 목표성분에 도달한다. Fig. 1은 장입비 변경후 시간에 따른 C%변화를 나타내었다.

2.1.2 출탕온도

Table 4. 가단주철의 용해성분

항목	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Bi	Al
범위	2.45~2.65	1.20~1.40	0.45~0.60	0.05이하	0.08~0.11	0.15~0.25	0.05이하	0.001~0.002	0.004~0.009

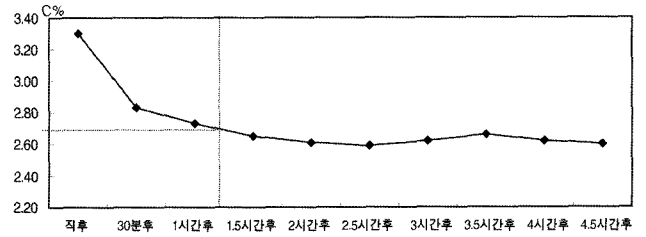


Fig. 1. 장입비 변경후 시간에 따른 C%변화.

Table 5. 재질별 출탕온도

재질	출탕온도
가단주철	1,520 ~ 1,560°C
회주철	1,480 ~ 1,520°C
구상흑연주철	1,480 ~ 1,520°C

Table 6. 재질별 Bed Coke 높이

재질	Bed Coke 높이	열풍온도 (°C)	풍량 (Nm ³ /min)	풍압 (mmAq)	가탄율 (%)
가단주철	400 ~ 500 mm	200~450	150	900	1.3
회주철	700 ~ 800 mm	450	150	1,200	1.6
구상흑연주철	800 ~ 900 mm	450	150	1,400	1.2

회주철이나 구상흑연주철에 비하여 CE%가 낮으므로 고온의 출탕온도를 필요로 하고 특히, 많은양의 강고철을 사용하기 때문에 노내의 행징발생시 급격한 출탕온도변화가 있으므로 주의를 해야한다.

당사의 재질별 출탕온도를 Table 5에 나타내었다.

2.1.3 Bed Coke높이

Cupola용해시는 로내의 Bed Coke층에서 가탄이 이루어지기 때문에 Bed Coke높이를 조절하여 회주철, 구상흑연주철과 구분하여 용해를 한다.

또한, 재질별로 용해재료의 사용량이 다르고 이에 따라 가탄율의 차이가 나기 때문에 열풍온도를 조절 한다. 재질별 Bed Coke높이를 Table 6에 나타내었다.

2.1.4 Coke비

가단주철은 2.4 ~2.7C%의 낮은 C%로 용해를 해야하기 때문에 가탄율이 높은 무연괴탄은 사용하기가 조업상 문제점이 있어 고가의 Coke를 사용을 하고 있다.

Table 7은 재질별 Coke%및 사용원료를 나타내었고, Table 8은 원료별 가탄속도를 나타내었다.

2.1.5 장입재료비

회주철,가단주철에 비하여 강고철의 사용량이 많고 주물의 회수율이 45%로 낮으므로 발생하는 회수철을 100% 사용할 수가 없고 잉여의 가단주철 회수철은 회주철, 구상흑연주철 용해

Table 7. 재질별 Coke% 와 사용원료

재질	1000 kg당 투입량		
	주물용Coke	무연피탄	Coke비
가단주철	120 kg	-	12.0%
회주철	35 kg	100 kg	13.5%
구상흑연주철	35 kg	100 kg	13.5%

Table 8. 원료별 가탄속도

구분	흑연전극	무연피탄	Coke
가탄속도(C 0.01%/min)	10.3	7.2	5.8

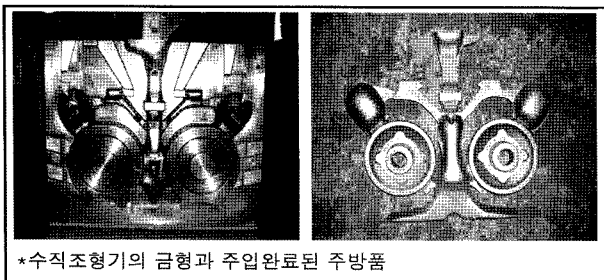
Table 9. 재질별 장입량

재질	1000 kg당 투입량			
	선철	고철	회수철	Fe-Si
가단주철	-	600 kg	400 kg	20 kg
회주철	-	600 kg	400 kg	16 kg
구상흑연주철	100 kg	500 kg	400 kg	16 kg

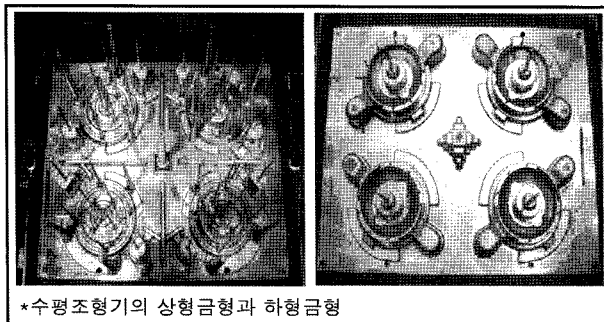
시 선철대용으로 사용을 한다. Table 9는 재질별 장입량을 나타내었다.

2.2 조형

당사는 고압수평조형기와 고압수직조형기에서 생산을 하고 있다. 두가지 Type의 조형기가 장점과 단점이 있으나 가단주철의 높은 용고점(당사에서는 1,350°C 이하면 주입이 불가능함)을 감안하면 Gas결함(Pin Hole, Blow Hole결함)을 방지할수 있는 구조방안을 쉽게 설계할수가 있는 수평Type 조형기가 유리하였다.



*수직조형기의 금형과 주입완료된 주방품



*수평조형기의 상형금형과 하형금형

2.3 주입

당사는 주입공정에 자동주입기를 사용하고 있어, 주입온도관리(1420±10°C)에는 유리한 점이 있다.

또한 분위기조절용으로 N₂Gas를 2 Nm³/Hr을 사용하여 용탕 산화를 방지하고 성분변화가 없는 장점이 있다. 그러나 가단주철 주조시 가장 중요하고 어려운 문제인 Mottle을 해결하기 위한 Bi접종이 어렵다는 점이 최대의 난제였다.

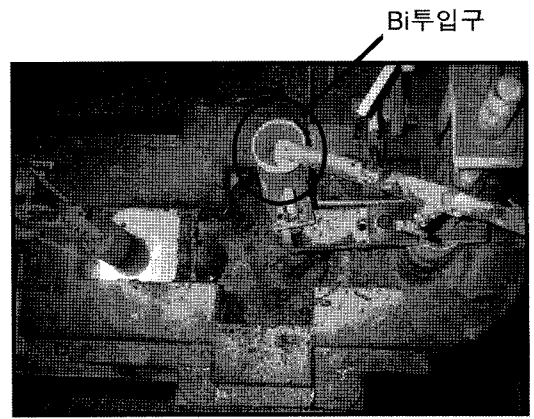
초기에는 운반용 레들에 Bi접종을 실시하였으나 Fading현상으로 집중효과가 떨어져 양산에는 부적합하였다. 이는 구상흑연주철 생산시 구상화 불량인 Mg Fading과 매우 유사하다.

당사의 경험상 Bi 접종의 안정적인 시간은 접종후 약 15분이었다.

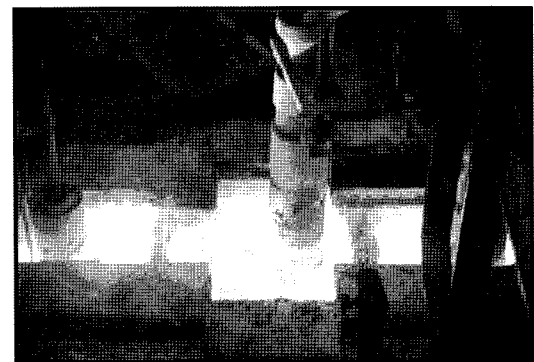
Fading현상을 방지하기 위하여 많은 량의 Bi접종(0.2%접종)을 실시를 하면 Fading영향은 방지를 할 수가 있으나 아연도 금강판을 다량 사용시 발생하는 용해로, 주입기의 인덕터와 로체하부에 아연이 증기압에 의하여 유출되는 현상과 유사한 현상이 발생하였다. 물론, 고가의 Bi가 다량 사용되어 경제적인 손실도 크다.

개선방안은 주입직전에 주입기의 Front부에 접종을 하는 방법을 채택하여 많은 Test를 통하여 가장적절한 Front형상 및 Bi투입량(0.02%)을 설정하였다. 이방법은 여러회사에서 시도를 하고 있는 방법이나 접종계를 가장효율적으로 사용할 수가 있기때문에 다른 재질 생산시에도 있점이 있을 수가 있다. Fig. 2은 당사에서 사용하고 있는 주입기의 Front부를 나타내었다.

2.3 탈사

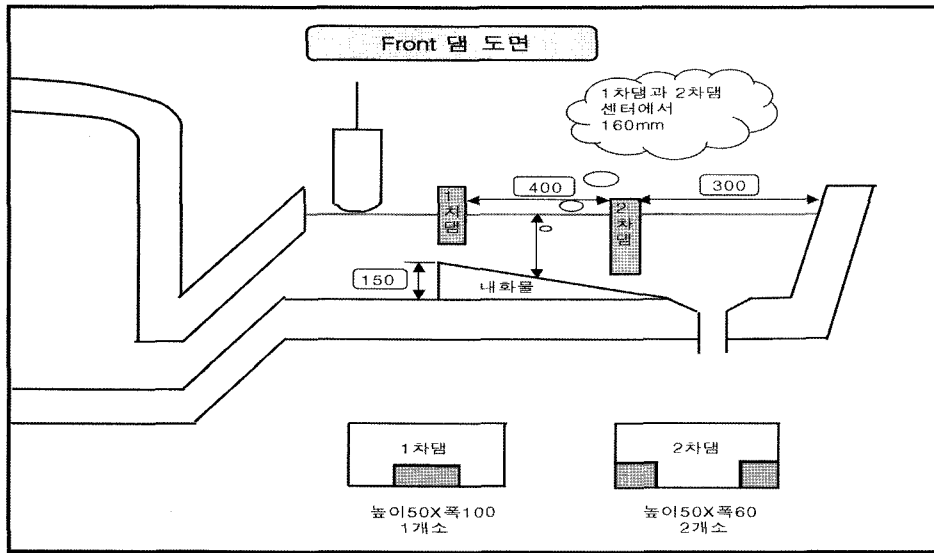


Front부 축로후 예열된 상태



주입직전 용탕이 충만된 상태

Fig. 2. 자동주입기의 Front부 축로후와 용탕이 충만된 상태.



*자동주입기 Front부의 가단주철용 Bi점종댐 도면

당사에서는 연속탈사기를 이용하여 탈사를 하고 있다. 다른 재질과의 차이점은 다음 공정이 열처리 공정이므로 잔여 물질이 Quenching시 Oil을 오염시키지 않게 청정도를 유지 해야 한다.

2.4 열처리

가단주철의 열처리는 다음과 같은 목표에 따라 결정되어야 한다.

- ① 최종물성치 : 경도, 인장강도, 신율
- ② 흑연입도 : 내마모성, 가공후 표면조도
- ③ 고주파 열처리 유무 : Bull's eye존재허용유무, Pearlite잔존허용유무
- ④ 경제성

가단주철의 열처리 방법은 일반적으로 Table 10과 같이 2가지 방법이 있으나 당사는 대량생산을 하고 원가를 절감하기 위하여 첫번째 공법을 사용하고 있다.

열처리공정에서 고려해야 할 인자가 많으나 당사에서 행하고

있는 몇가지를 소개를 한다.

2.4.1 승온속도

흑연입수, 크기에 큰영향을 미치므로 승온 도중에 300~600°C구간에서 Pre Baking을 실시하여 흑연입수를 많게 한다. 승온속도는 140°C/Hr이다.

2.4.2 Annealing온도와 유지시간

사용로의 승온능력, 제품의 두께, 형상, 다음공정의 상태등에 따라서 결정되어야 하나 당사는 970°C×24 Hr을 채택하고 있다.

일반적인 온도와 시간과의 관계를 Table 11에 나타내었다.

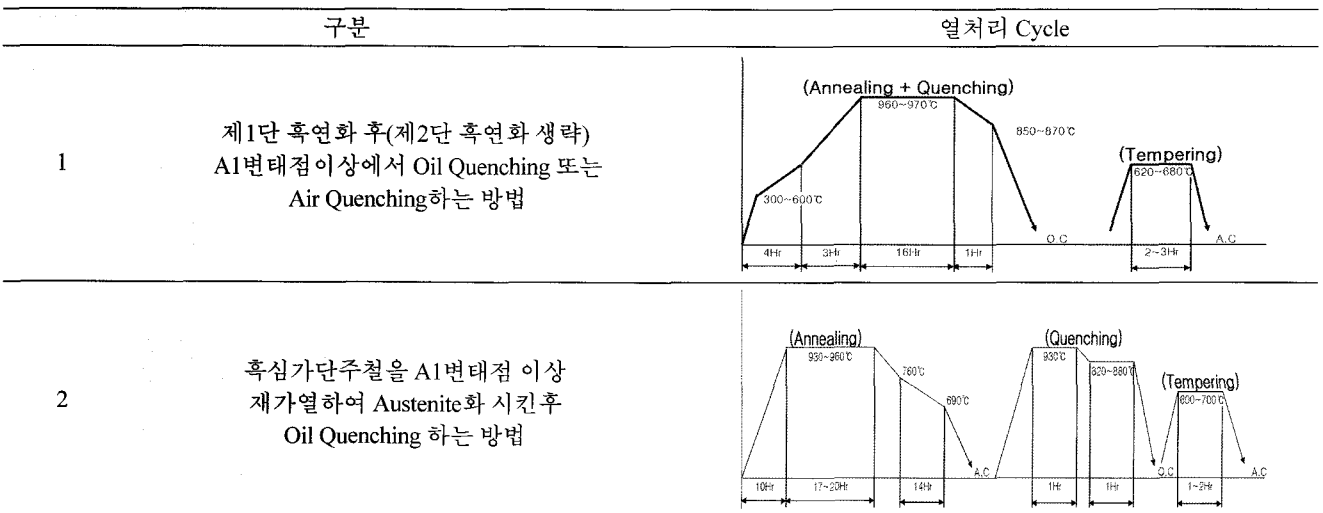
2.4.3 Annealing분위기

로내의 분위기가 산화성, 중성, 환원성분위기인가에 따라 제

Table 11. Annealing 완료에 대한 온도와 시간과의 관계

Annealing 온도(°C)	1,050	1,000	970	900	860
Annealing 시간(Hr)	10	15	24	50	144

Table 10. 가단주철 열처리 방법



품의 품질에 큰영향을 미치므로 중성 또는 환원성분위기로 작업을 한다. 환원성 분위기를 유지하기 위하여 N₂ Gas를 50 Nm³/Hr을 사용 한다. 산화성 분위기 일때는 탈탄이 진행되어 Pearlite Rim이 형성된다.

Pearlite Rim은 주조시, 혹은 열처리시 제품의 표면 또는 표면 Ferrite층 직하에 괴상흑연이 없거나 적은 Pearlite의 두꺼운 층으로 가공성을 크게 해치며, 연성을 저하시키고 Crack을 유발하고, 괴상흑연 부족으로 인한 내마모성을 크게 저하시킨다. 그러므로 가단주철 열처리시 가장중요한 요소중 하나이다.

2.3.4 Pearlite Rim 발생원인

표면의 탄소가 내부에서 외부로 확산하는 것보다 외부에서 산화되는 것이 빠르기 때문에 발생하는 현상으로 주조시와 열처리에 다음과 같은 영향이 있다.

① 주조시 영향

주물표면층의 Si가 산화되어 불활성 규소가 되기 때문에 이층의 흑연화 속도가 감소한다.

산화된 용탕사용시, 과도한 Mn량, 과도한 S량

② 열처리시 영향

산화성 분위기

제1단 Annealing온도가 높을때, 장시간 유지할때

제1단 Annealing초기에 진행된 탈탄이 영향이 가장 크다.

2.3.5 Quenching 직전 온도

Quenching 직전 온도는 Martensite량과 Pearlite 잔존유무 등 물성치에 영향이 크다. 너무 높은 온도에서 Oil Quenching 시키

면 완전한 Martensite를 얻을수가 있으나 Crack이 증가를 한다. 반면 낮은 온도(830°C 이하)는 Pearlite가 석출되어 기지조직이 Bull's eye 조직이 되므로 불건한 조직이 된다. Table 12는 당사에서 적용하고 있는 C%와 Si%에 따른 Quenching 직전 온도와 Quenching Oil 조건이다.

Quenching 작업 후 경도는 HB 550~650이다.

Table 12. Quenching 시 Crack 방지를 위한 작업조건

관리항목	Group1		Group2	
	C%	2.45~2.55	C%	2.55~2.65
	Si%	1.3~1.4	Si%	1.2~1.3
Quenching 직전 온도(°C)	860 ~ 870		850 ~ 860	
Quenching Oil 온도(°C)	65		70	
Agitation RPM	600		500	

2.3.6 Tempering 온도 및 시간

Quenching 경도는 모든 제품을 동일하게 작업을 하고 최종물성치(경도, 신율 등)는 Tempering 공정에서 조절을 한다. Table 13은 물성치에 따른 Tempering 온도 변화를 나타내었다.

2.3.7 열처리 완료 후 물성치와 현미경 조직

열처리 완료 후의 물성치와 조직은 각 Group 별로 다르나 1 Group의 작업 결과를 Table 14와 Fig. 3에 나타내었다.

2.3.8 자분탐상시험

Table 13. 물성치에 따른 Tempering 변화

구분	Spec		Tempering 온도 (°C)	목표치	
	경도(HB)	신율(%)		경도(HB)	신율(%)
1 Group	229 ~ 269	>2	620 ~ 630	245 ± 10	>2
2 Group	223 ~ 262	>2	630 ~ 640	235 ± 10	>2
3 Group	210 ~ 250	>2	640 ~ 650	225 ± 10	>2

Table 14. 양산작업품 열처리 후 작업결과

구분	Microstructure				Carbite	Rim	기계적성질		
	Nodule						경도(HB)	인장강도(kgf/mm ²)	연신율(%)
	크기	수량	형상	분포					
SPEC	1 ~ 5	50 ~ 150	1 ~ 5	1 ~ 4	3% 이하	1.3mm 이하	229~269	71 이상	2% 이상
결과	3 ~ 4	60 ~ 90	3 ~ 4	3	None	0.3	233~245	73 ~ 78	2.5 ~ 3.0

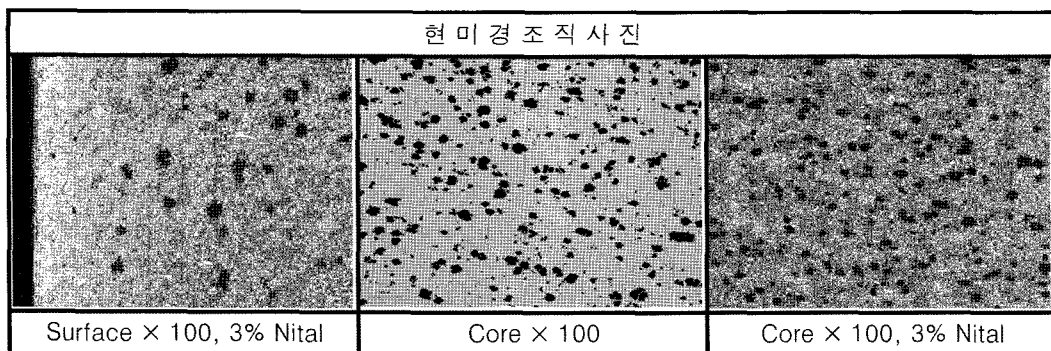


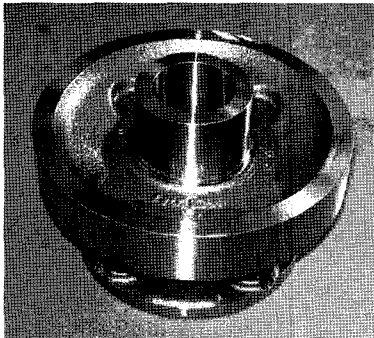
Fig. 3. 현미경 조직

가단주철은 주물상태에서 백선주물로 매우 경하며 취약하고, 또한 열처리를 함으로써 Crack이 발생되는 공정상의 특징이 있으므로 안정적인 작업을 하여도 모든제품을 자분탐상시험을 행하여 Crack발생품을 제거하여야만 한다.

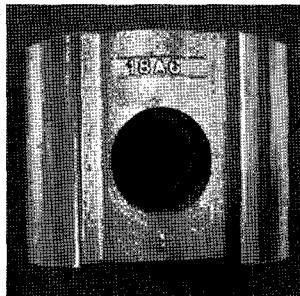
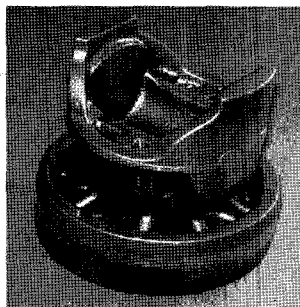
2.3.9 방청

가단주철은 열처리와 자분탐상시험등 다른 주물보다 열적인 영향, 복잡한 공정등을 거치기 때문에 녹발생이 쉽게 되므로 반드시 방청처리를 하여 보관 및 출하를 하여야 한다.

3. 완성된 제품



고마력 Transmission Carrier



디젤엔진 Piston과 Skirt

4. 결 론

1) 용해시 Cupola용해의 잇점은 ① 연속적인 출탕이 가능하여 전기로 용해시보다 출탕시간에 성분변화를 줄일 수가 있고 많은 량의 용탕을 공급받을 수가 있다.

② 가단주철에 매우 중요한 S%를 0.08~0.11%를 유지할 수가 있다.

③ Cupola내의 Bed Coke에 의하여 가탄이 되는것을 Bed Coke높이와 열풍온도, 사용원료, 강고철 사용량등을 조절함으로써 별도의가탄제를 첨가하지 않고 C%를 2.45~2.65%로 안정적으로 작업을 할 수가 있다.

2) 주입시 자동주입기를 사용함으로써 주입온도를 1,420±10°C로 일정하게 관리를 할수가 있고 주입기의 Front를 개선하여 Bi점중량을 줄이고 안정적으로 Mottle을 방지를 할 수가 있다.

3) 열처리에 알맞은 조건(주물의 성분,형상)을 주조시 개선함으로써 열처리 시간과 비용을 절감할수가 있다.

4) Quenching직전온도를 조절하여 Crack을 줄이고 안정적인 열처리조직을 얻을 수가 있다.

5) 당사에서 개발하여 생산하고 있는 제품은 현재는 전량 수출을 하고 있으나, 디젤 실린더 블록의 Piston등은 국산화가 가능하여 향후 수입대체 효과와 국내 개발엔진에도 적용을 할 수가 있다.