

|||||||
現場技術
|||||||

용탕가압법에 의한 동합금 부품제조

김기태 · 정운재

Production of Cu Alloys Parts by Squeeze Casting

Ki-Tae Kim and Woon-Jae Jung

1. 서 론

용탕가압기술은 금형내의 용탕에 press에 의한 높은 압력을 가하므로써 수축 및 기공등의 구조결함이 없고 기계적 특성 및 치수정밀도가 우수한 고품질의 제품을 얻을 수 있는 주조기술이다. 즉, 일반 주조법과는 달리 용탕주입후 응고완료시까지 높은 압력이 유지되기때문에 응고수축 및 기공등 구조결함의 제거가 가능하며, 또한 가압에 의한 용탕과 금형간의 열전달효과의 향상으로 냉각속도가 증가하기 때문에 미세한 조직을 얻을 수 있어 기계적 특성이 우수하며, 다이캐스트와 같이 치수정밀도가 높은 제품을 얻을 수 있는 등의 장점을 갖고 있어, 최근 고품질, 고기능 제품제조를 위한 주조기술로서 주목을 받고 있다. 미국, 러시아, 유럽 및 일본등에서는 1960년대 부터 Al합금 뿐만 아니라, 동합금, steel 및 복합재료등의 다양한 재료에 대한 용탕가압기술의 기초연구 및 기술개발을 통하여 자동차, 산업기계, 우주, 군사등의 주요 산업분야에 용탕가압기술을 실용화하고 있으며 점차 그 적용분야를 확대해 나가고 있다.

그러나 국내에서는 지금까지 일부업체에서 용탕가압기술을 이용하여 주로 Al합금 자동차부품을 제조하고 있으나, 동합금의 용탕가압기술에 대한 기초연구 및 실용화를 위한 기술개발이 이루어지지 않고있기때문에, 대부분 사형주조, 중력금형주조 및 원심주조기술등에 의존하여 동합금 제품을 제조하고있어, 용탕가압기술에 의해 제조된 제품에 비해 품질 및 기계적 특성이 열등함은 물론 생산성도 낮은 실정이다. 따라서 국내에서도 worm wheel, bushing, valve body, pulley, impellar 및 motor rotor뿐만 아니라 이외의 다

양한 고품질, 고기능 동합금 제품제조를 위해서는 동합금 용탕가압기술의 개발 및 실용화가 시급히 필요한 실정이다.

본 자료에서는 동합금 제품의 용탕가압기술개발 및 실용화의 일환으로, 용탕가압법에 의한 순동 electric motor rotor 및 인청동 bushing의 제조공정에 대하여 기술하였다.

2. 순동 electric motor rotor

2.1 제조공정

순동 electric motor rotor 제작을 위하여 사용한 가압장치는 800ton 유압 프레스로서 그 제원은 표 1과 같다. 금형은 그림 1과 같이 유압프레스에 장착하여 간접가압법에 의하여 용탕을 가압할 수 있도록 하였다.

순동 electric motor rotor는 그림 2와 같이 철제 electric motor rotor core 및 용탕충전부로 나눌 수 있으며, 또한 용탕충전부는 lower end ring, slot hole 및 upper end ring의 세부분으로 나눌 수 있다. 먼저 간접가압법에 의하여 순동 electric motor rotor를 용탕가압할 경우, 용탕의 유동해석 및 열해석 결과는 그림 3과 같다. 금형온도는 400°C이고 용탕주입온도를

표 1. Electric motor rotor 주조용 유압 프레스 제원

main pressure	800 ton
die cushion pressure	100 ton
ram stroke	900 mm
die cushion stroke	100 mm
pressure speed	15 mm/sec
pressure max.	350 kg/cm ²

한국생산기술연구원(Korea Institute of Industrial Technology)

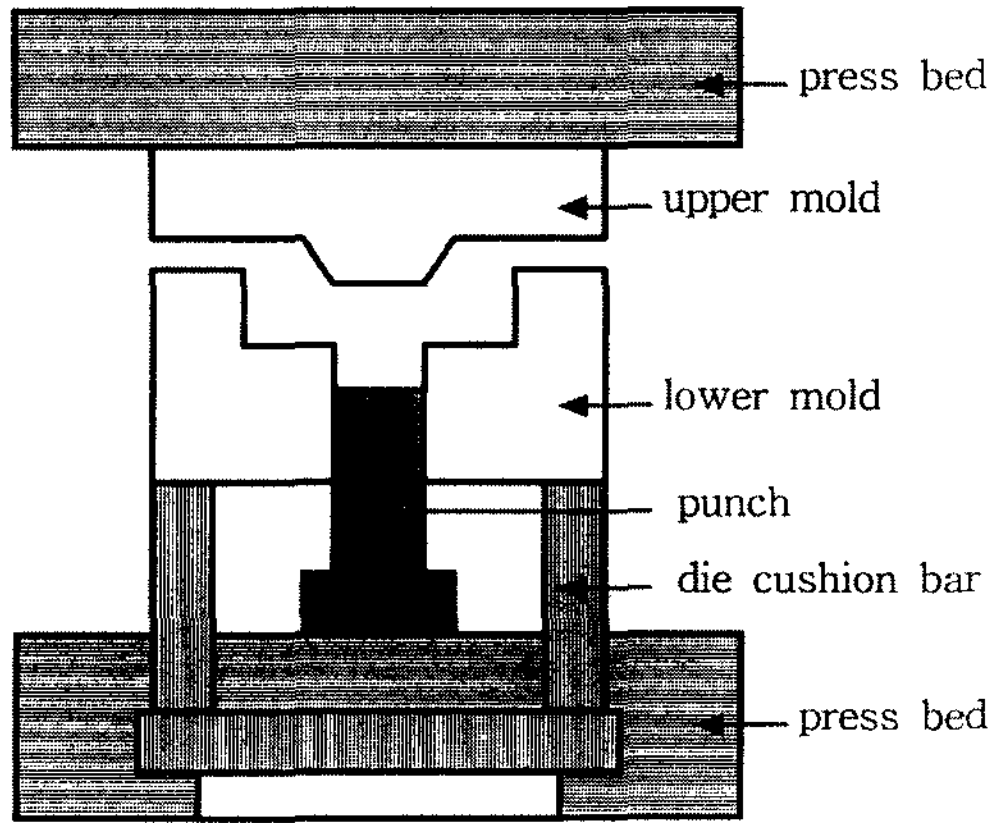


그림 1. 순동 electric motor rotor 금형의 장착(용탕간접가압법).

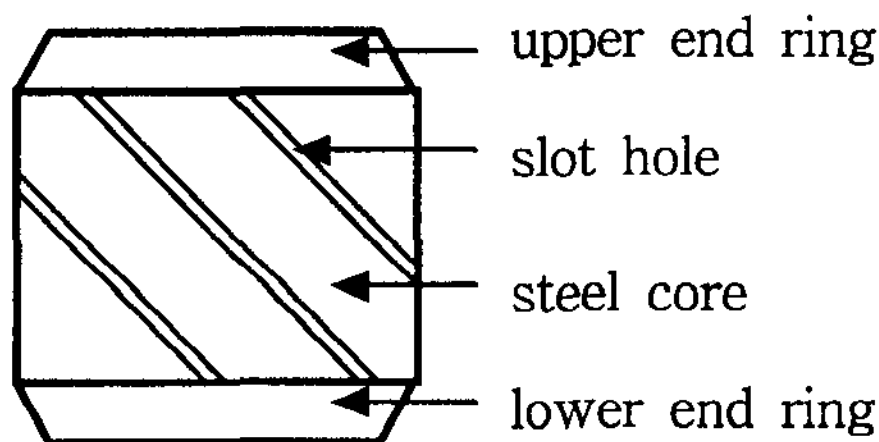


그림 2. 순동 electric motor rotor.

1,200°C로 한 조건에서는, upper end ring이 완전충전 되지 못한 상태에서 끝부분의 용탕의 온도가 액상선 이하로 내려가서 완전충전이 이루어지지 못한 것을 알 수 있다. 그러나 용탕주입온도를 1,250°C로 한 조건에서는, 용탕이 upper end ring에 100%충전된 후에도 용탕의 온도가 액상선 이하로 내려가지 않았다. 따라서 순동 electric motor rotor의 완전충전을 위한 금형온도 및 용탕주입온도는 각각 400°C 및 1,250°C 이상인 것으로 판단할 수 있다. 이러한 유동해석 및 열 해석결과를 이용하여 다음과 같은 공정조건에 따라서 electric motor rotor 시제품을 제작하였다.

금형의 도형은 알루미늄계 도형재를 사용하였다. 용탕충전성에 미치는 금형온도의 영향을 검토하기 위하여 금형온도는 약 300~400°C로 조절하였으며, 철제 electric motor rotor core의 가열온도도 금형온도와 거의 같아지도록 조절하였다. 용탕주입온도는 순동용탕의 유동성 및 철제 electric motor rotor core에의 용탕 충전성을 고려하여 1,250~1,280°C로 조절하였다. 다음 용탕을 주입한후 상형과 하형을 체결하고 금형체 결과 동시에 상하형을 함께 밀어내려, 고정되어있는 punch에 의하여 용탕을 가압할 수 있도록 하였다. 이

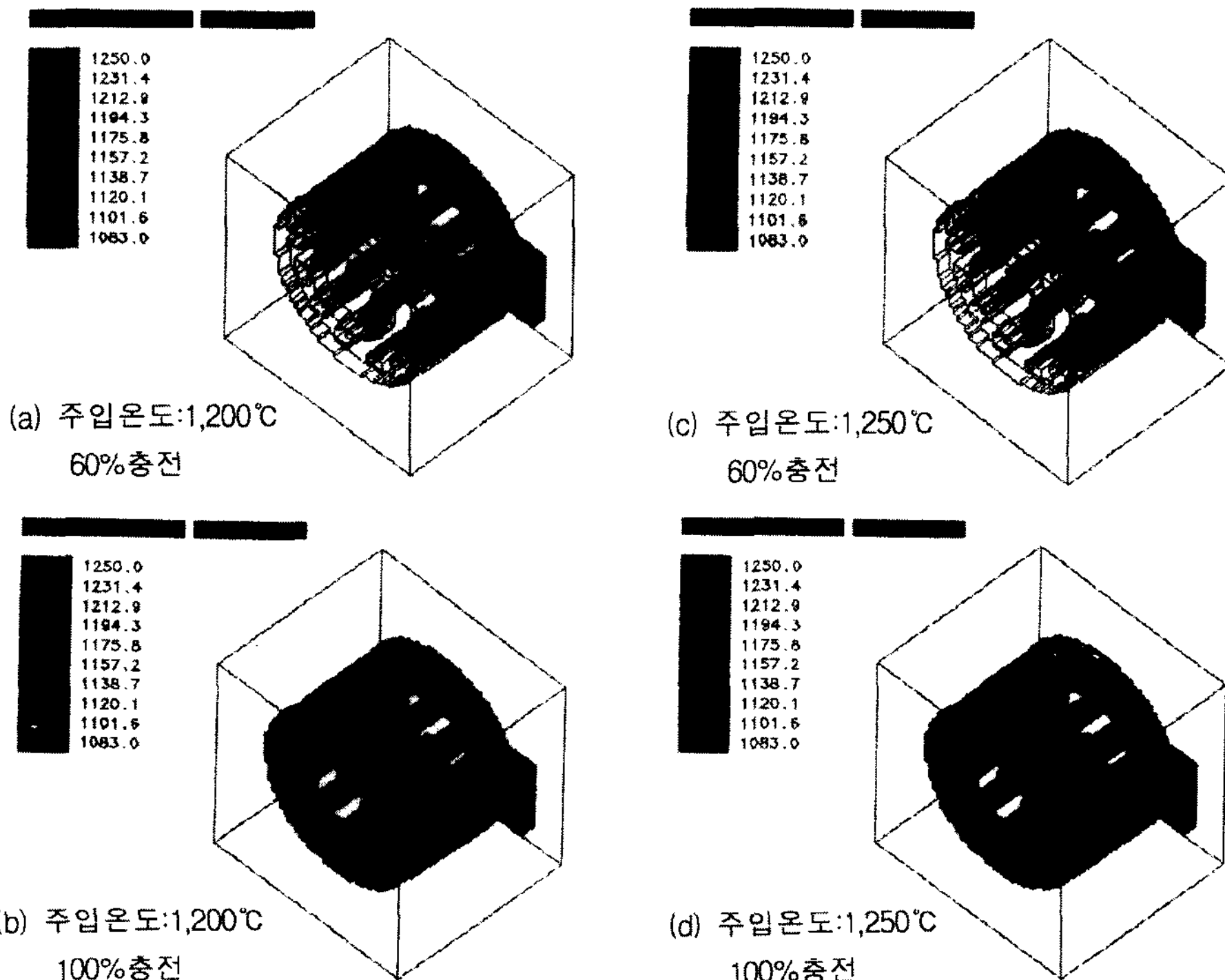


그림 3. 순동 electric motor rotor의 유동해석.

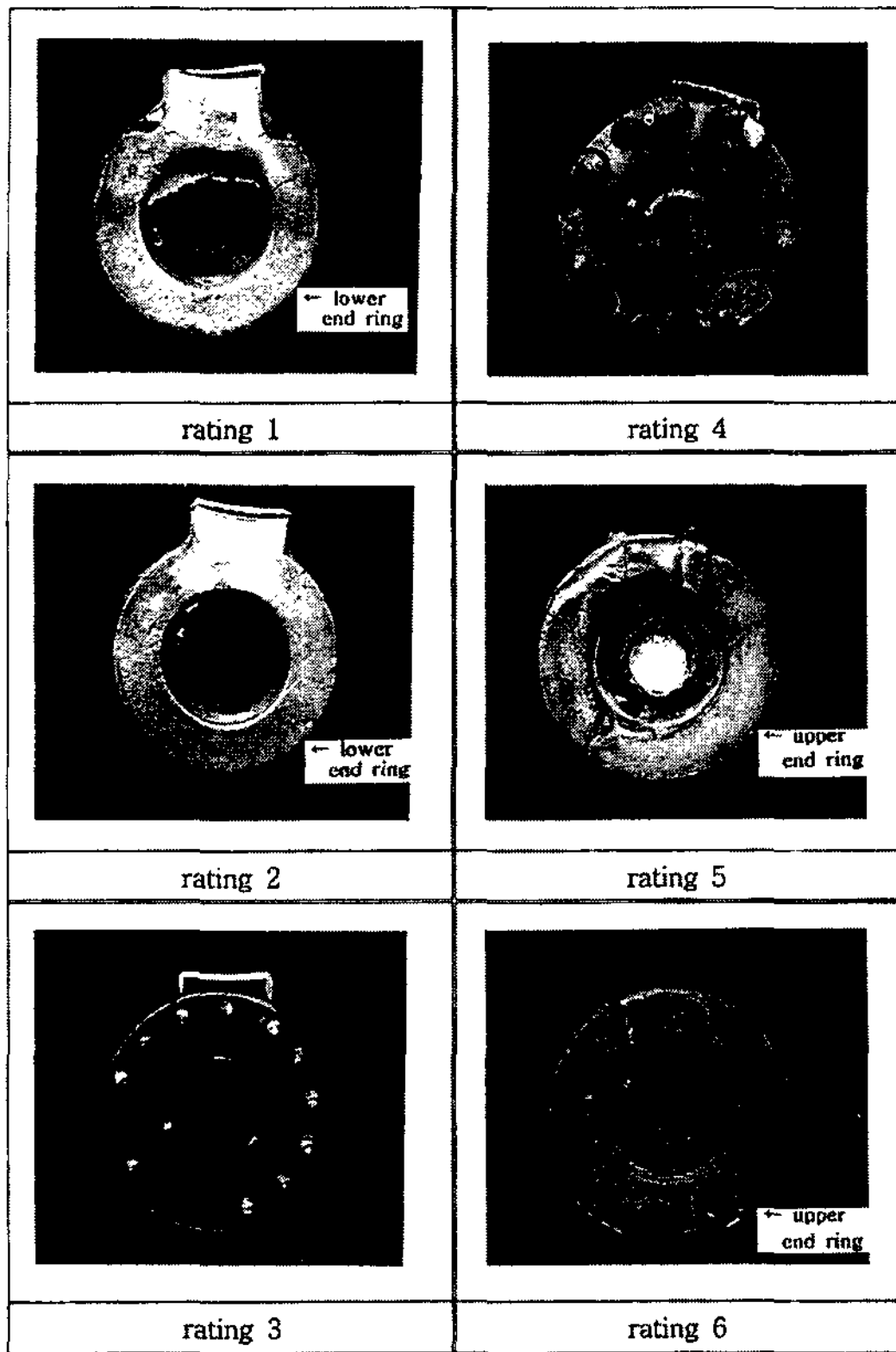


사진 1. 순동 electric motor rotor의 용탕충전성.

때 용탕의 가압력은 650~1,000 kg/cm²으로 조절하였으며, 가압속도는 15 mm/sec로 일정하게 하였다. 가압유지시간은 용탕량 및 제품의 두께를 고려하여 응고완료시까지의 시간이상인 약 10초로 하였다.

사진 1은 여러 제조공정조건에 따라서 제작된 electric motor rotor로서 다양한 용탕충전성의 변화를 볼 수 있다. electric motor rotor의 용탕충전은 lower end ring → slot hole → upper end ring의 순으로 이루어진다. 따라서 용탕충전성의 평가는 다음과 같이 각각의 용탕충전부에서의 용탕충전성 정도를 부분충전 혹은 완전충전으로 나타내었다.

- rating 1 : partial filling in the lower end ring
- rating 2 : filling in the lower end ring
- rating 3 : partial filling in the slot hole
- rating 4 : filling in the slot hole
- rating 5 : partial filling in the upper end ring
- rating 6 : filling in the upper end ring

표 2에서 알 수 있듯이 일정한 가압력이상에서 순동 electric motor rotor의 용탕충전성은 용탕주입온도 및

표 2. 순동 electric motor rotor 시제품의 용탕가압 공정조건별 충전성

용탕주입온도 (°C)	용탕가압 공정조건		가압속도 (mm/sec)	용탕충전성 (rating)
	금형온도 (°C)	가압력 (kg/cm ²)		
1,250	300	650	15	1~3
1,250	300	950	15	1~3
1,250	400	650	15	3~5
1,250	400	950	15	3~5
1,280	400	650	15	5~6
1,280	400	800	15	6
1,280	400	1,000	15	5~6

(*rating은 본문참조)

금형온도에 따라서 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 즉, 용탕주입온도(1,250°C) 및 금형온도(300°C)가 낮은 공정조건에서는 가압력에 관계없이 용탕충전성은 lower end ring 부분충전~slot hole 부분충전수준에 이르렀으나, 동일 용탕주입온도(1,250°C)에서 금형온도를 400°C로 높였을 경우에는 slot hole 부분충전~upper end ring 부분충전수준으로 용탕충전성이 향상되었다. 또한 용탕주입온도를 1,250°C에서 1,280°C로 높였을 경우에는 용탕충전성이 보다 향상되어 upper end ring 부분충전~upper end ring 완전충전수준에 이르렀다. 한편 용탕주입온도 1,280°C에서 가압력을 650 kg/cm²로부터 800 kg/cm²로 높였을 경우 용탕충전성은 향상되었으나, 가압력을 1,000 kg/cm²로 더욱 높였을 경우에는 오히려 용탕충전성이 약간 저하되는 경향을 보였다. 이것은 가압력 증가에 의한 금형과 주

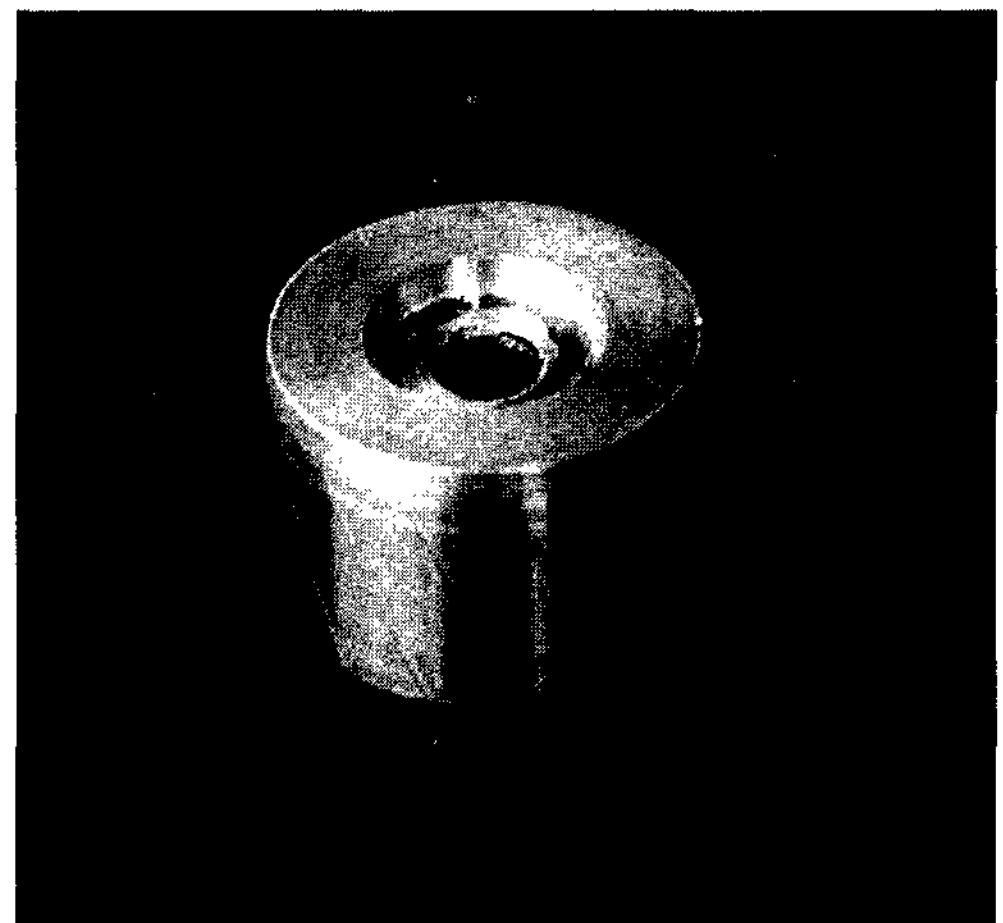


사진 2. 순동 electric motor rotor 시제품.

표 3. Electric motor rotor 성능비교시험 평가결과

제품 성능항목	용탕가압 rotor (end ring 높이 : 1.5 mm)	동바조립 rotor (end ring 높이 : 1.75 mm)	Al D/C rotor (end ring 높이 : 3.0 mm)
최대양정(M)	7.7	7.0	7.2
최대유량(LPM)	61.5	59	57
회전수(RPM)	2540 / 3259	2520 / 3139	2400 / 3180
소비전력(W)	131 / 97	116 / 93	127 / 97

물간의 계면 열전달계수 증가로 인하여 주물표면의 응고속도가 빨라져서 주물내부 응고수축부에 대한 가압효과가 저하되어 수축결함의 발생확률이 높아졌고, 또한 합형면사이로 용탕이 일부 분출되어 가압력이 감소되었기 때문에 용탕충전성이 저하된 것으로 판단된다. 결론적으로 순동 electric motor rotor의 용탕충전성에 미치는 공정조건의 영향은 일정한 가압력 이상에서 용탕주입온도 및 금형온도의 영향이 지배적인 것을 알 수 있다.

사진 2는 용탕가압후 가공한 electric motor rotor 시제품을 보여주는 것이다.

2.2 성능평가

동바조립 rotor, 용탕가압 rotor(도전율:87%IACS), Al die casting rotor등의 제조공정이 각각 서로 다른 rotor 3종에 대하여 수중순환펌프의 성능(최대양정, 최대유량, 회전수, 소비전력, 최대효율)비교시험을 실시하여 평가한 결과는 표 3과 같다. 성능시험결과 용탕가압 rotor는 동바조립 rotor 및 Al die casting rotor에 비해 소비전력항목을 제외한 모든 항목에서 성능이 향상된 것을 알 수 있다. 용탕가압 rotor의 소비전력이 높은 것은 rotor slot에 형성된 도전체의 단면적차에 의한 결과로 추정되므로 따라서 rotor의 short circuit 단면적 및 형상설계변경을 통하여 소비전력을 낮출 수 있는 것으로 판단된다.

3. 인칭동 bushing

3.1 제조공정

인칭동 bushing 시제품제작을 위하여 사용한 가압장치는 200ton 유압 press로서 제원은 표 4와 같다.

금형은 상형, 하형 및 punch 등으로 구성되어 있으며, 그림 4와 같이 유압프레스에 장착하여 직접가압법에 의하여 가압할 수 있도록 하였다. 금형의 도형은

흑연도형재를 사용하였다. 금형온도는 용탕충전성 및 bushing의 기계적 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 약 200~300°C로 조절하였다. 용탕주입온도는 인칭동의 용탕유동성 및 응고특성을 고려하여 1,150°C로 일정하게 하였다. 다음 용탕을 주입한후 상형과 하형을 체결하고 금형체결과 동시에 상하형을 밀어내려, 고정되어있는 punch에 의하여 용탕을 가압할 수 있도록 하였다. 용탕의 가압력은 300~750 kg/cm²로 조절하였으며, 가압속도는 26 mm/sec로 일정하게 하였다. 또한 가압유지시간은 용탕량 및 제품의 두께를 고려하여 응고완료시까지의 시간이상인 약 15초로 하였다.

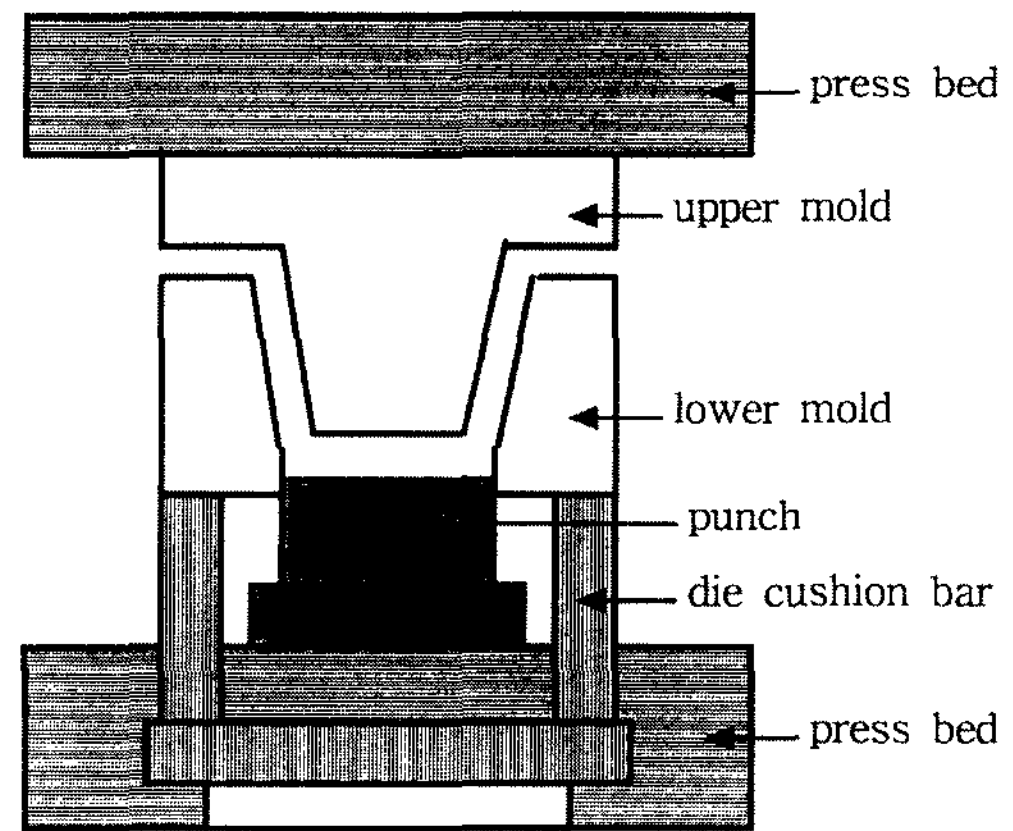


그림 4. 인칭동 bushing 금형의 장착 (용탕직접가압법).

표 4. 인칭동 bushing 주조용 유압프레스 제원

main pressure	200 ton
die cushion pressure	70 ton
ram stroke	800 mm
die cushion stroke	250 mm
pressure speed	26 mm/sec
pressure max.	210 kg/cm ²

3.2 물성평가

표 5는 여러 용탕가압 공정조건에 따라 제작된 인청동 bushing과 중력금형주조제품 및 사형주조제품의 경도를 비교한 것이다. 용탕가압한 인청동 bushing의 경도는 가압력에는 거의 영향을 받지 않았으며, 금형온도에 따른 경도의 변화를 보면 금형온도가 300°C인 경우에 111~113HB이고, 금형온도가 200°C인 경우에는 115~124HB로서 금형온도가 낮을 때에 경도가 높아진 것을 알 수 있다. 한편 용탕가압한 인청동 bushing의 경도는 중력금형주조 및 사형주조제품에

비하여 약 10~35%의 경도향상이 이루어진 것을 볼 수 있다.

사진 3은 여러 용탕가압 공정조건에 따라 제작된 인청동 bushing의 미세조직을 관찰한 것이고, 사진 4는

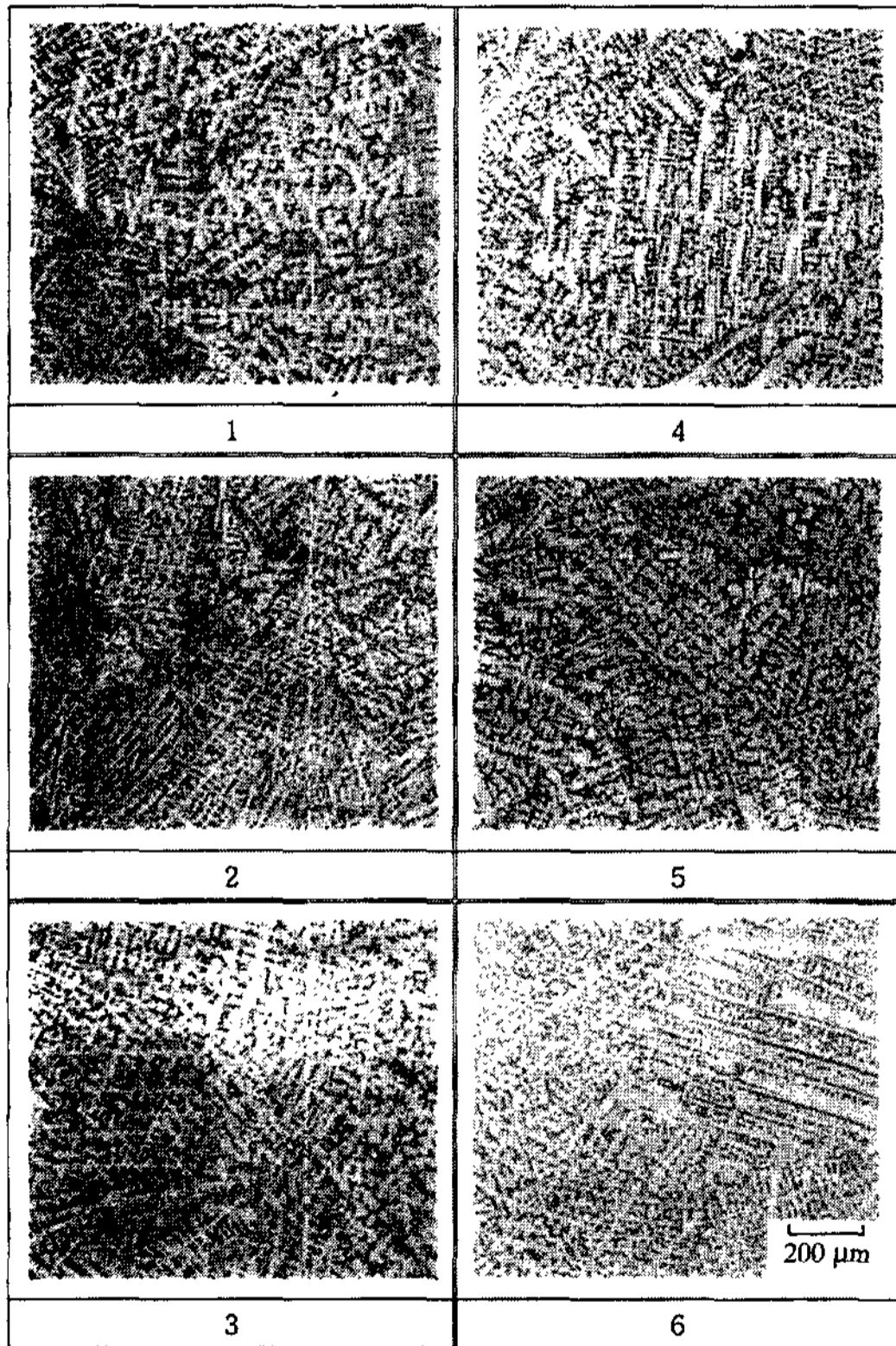


사진 3. 용탕단조한 인청동 bushing의 공정조건별 미세조직 (*시료번호별 조건은 표 5참조).

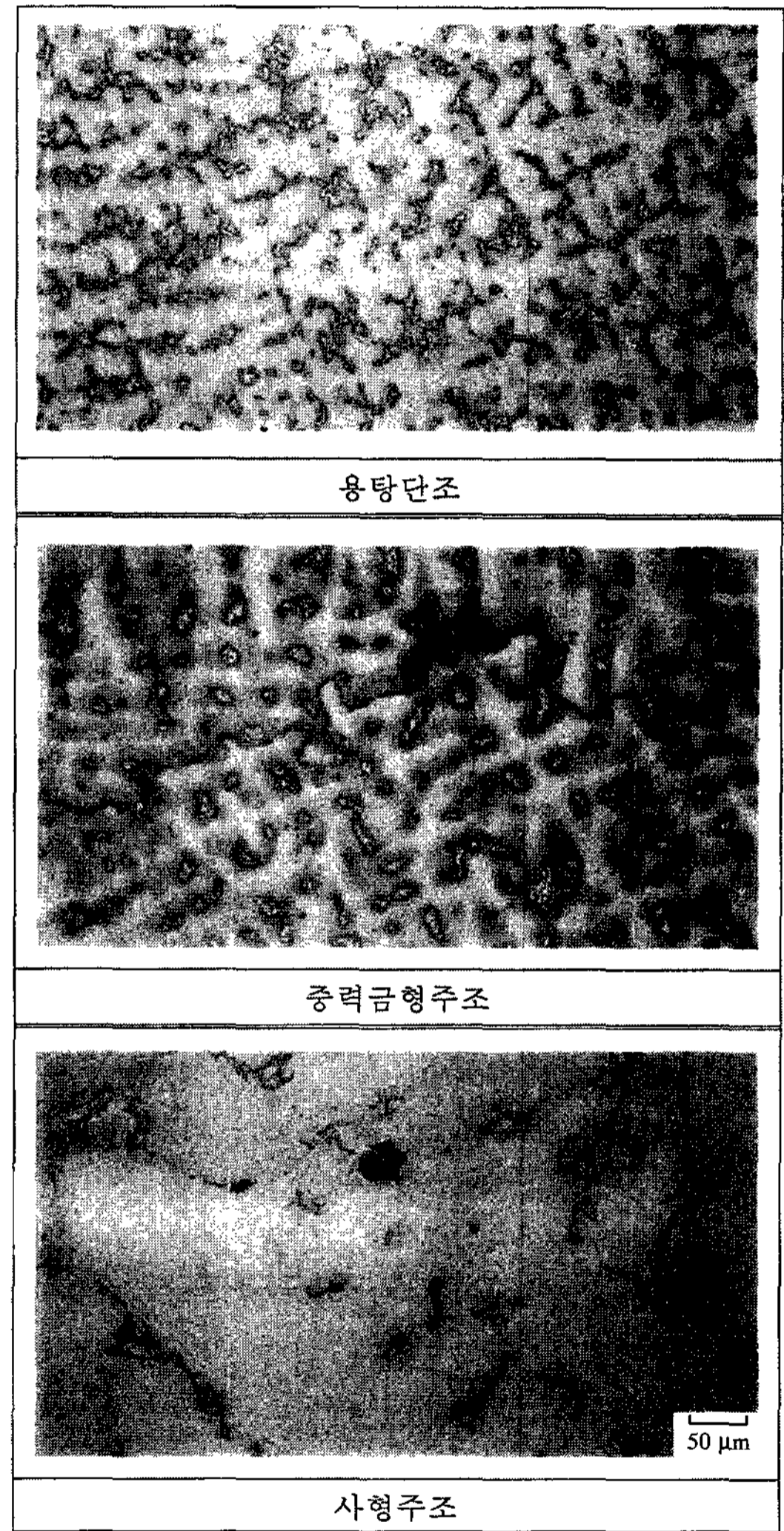
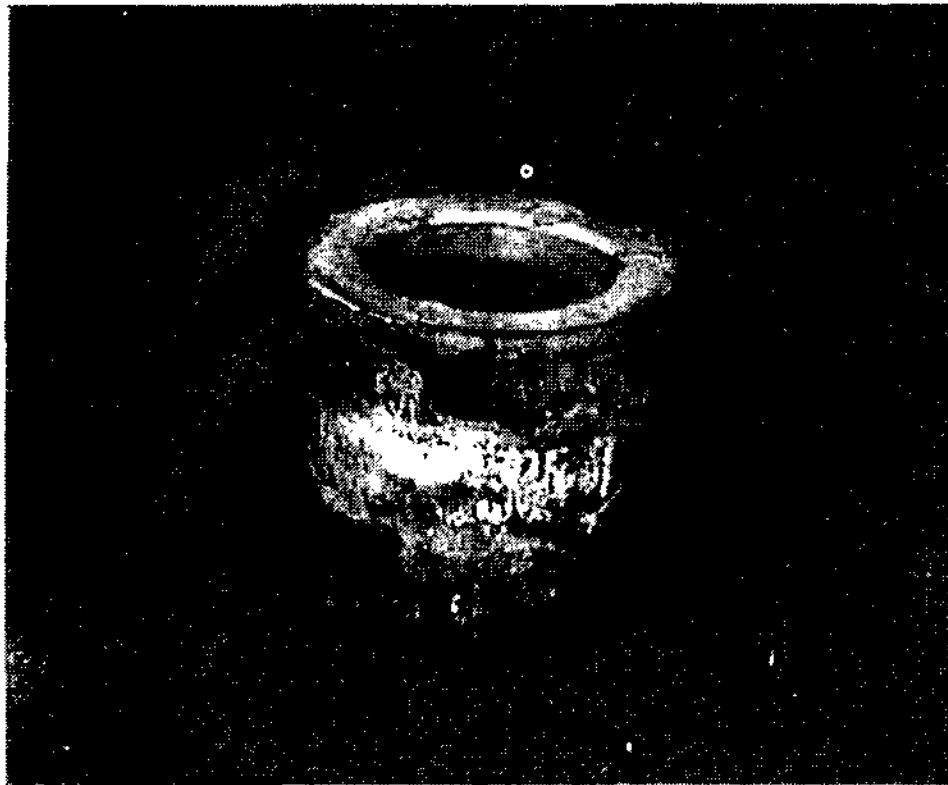


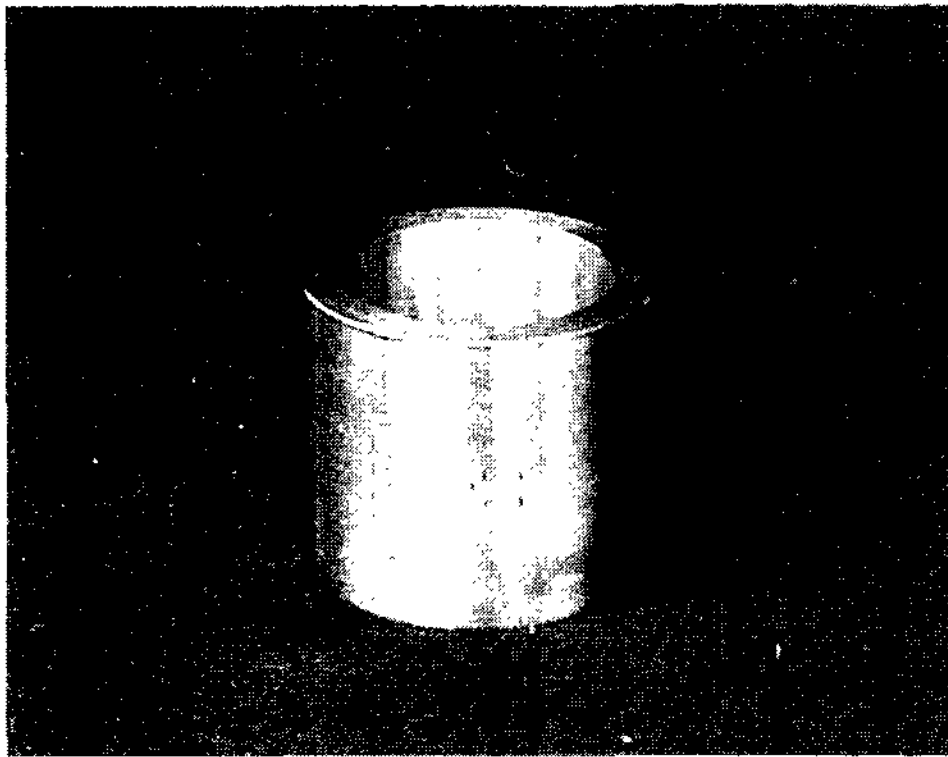
사진 4. 제조공정별 인청동 bushing의 미세조직비교.

표 5. 인청동 bushing의 공정조건별 경도의 비교

	용탕가압법						중력주조	사형주조
	1	2	3	4	5	6		
용탕온도(°C)	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150	
mold 온도(°C)	300	300	300	200	200	200	300	-
가압력(kg/cm ²)	300	500	750	300	500	750	-	-
가압속도(mm/sec)	26	26	26	26	26	26	-	-
경도(HB)	111	112	113	118	124	115	104	91



(a) 용탕가입제품



(b) 가공제품

사진 5. 인칭동 bushing 시제품.

여러 제조공정별(용탕가압, 중력금형주조, 사형주조) 인칭동 bushing의 미세조직을 비교관찰한 것이다. 사진 3에서 용탕가압제품의 미세조직은 공정조건에 관계없이 거의 비슷한 것으로 나타났다. 한편 사진 4에서 사형주조제품의 주조조직은 용탕가압 및 중력주조 제품에 비하여 매우 조대하며 인칭동 주물에서 나타

나는 미세수축공들이 나타나있다. 중력주조제품의 주조조직은 사형주조제품에 비하여 미세하지만 역시 미세수축공들이 나타나있다. 이에 비해 용탕가압제품의 경우에는 중력금형주조 및 사형주조제품에 비하여 조직이 극히 미세할 뿐만 아니라 미세수축공등의 주조결함도 나타나지 않았다.

사진 5는 용탕가압 및 기계가공한 인칭동 bushing 시제품을 보여주는 것이다.

4. 결 론

용탕가압법에 의하여 다양한 고품질, 고기능의 순동 및 동합금 제품을 제조하기 위해서는, 제품별로 적절한 용탕가압방식(직접가압식, 간접가압식), 금형설계, 용탕가압공정조건(용탕주입온도, 금형온도, 가압력, 가압속도, 가압유지시간) 등을 고려하여야한다. 특히 용탕가압공정조건에 따른 순동 및 동합금의 주조성 및 물성변화검토를 통하여 최적의 용탕가압공정조건을 확립하므로써, 주조결함이 없고 물성이 우수한 제품의 제조가 가능한 것이다. 따라서 본 자료에서는 동합금 제품의 용탕가압기술개발 및 실용화의 일환으로, 순동 electric motor rotor 및 인칭동 bushing을 제조하기위한 최적의 용탕가압공정조건을 확립하고자하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. Rajagojal : J. Applied metal working, 1(1981) 3.
- [2] 鈴木鎮夫 : 金屬材料, 15(1975) 9.
- [3] R. F. Lynch : AFS Trans., 83(1975) 561.
- [4] 西田義則 : 日本金屬學會會報, 19(1980) 895.
- [5] G. A. Chadwick : Metals and materials, 1(1989) 4.
- [6] 木內學 : 鐵と鋼, 71(1985) 12.
- [7] M. Adachi : 鑄物, 66(1994) 904.