

주조용 B390 알루미늄합금의 조직과 기계적 성질에 대한 각종 주조법의 영향

한요섭*, 이호인*, 김성수*, 김정식**

Effect of Casting Processes on the Microstructures and Mechanical Properties of B390 Aluminium Alloy

Yo-Sub Han*, Ho-In Lee*, Sung-Su Kim* and Jung-Sik Kim**

Abstract

The effects of casting processes—direct and indirect squeeze casting, permanent mold casting and die casting on the microstructure and mechanical properties were studied for the hypereutectic B390 aluminium alloy. The effects of T5 and T6 heat treatment were also examined. The direct and indirect squeeze casting showed no casting defects such as porosity and shrinkage were observed in permanent mold castings and die castings. The primary silicon phase was refined and homogeneously distributed in the order of indirect squeeze casting, diecasting, direct squeeze casting and permanent mold casting. Depletion of primary silicon phase in die casting surface was disappeared in indirect squeeze casting. Tensile strength of cast and heat treated specimens were increased in the order of direct squeeze casting, permanent mold casting, indirect squeeze casting and die casting. Hardness of indirect squeeze castings was larger than that of other castings. As indirect squeeze casting of B390 aluminium alloy, the time of T6 heat treatment to achieve high strength can be reduced. (Received March 27, 1993)

1. 서 론

최근 용탕단조법에 의한 고품질 주조품의 제조가 일본, 유럽에 이어 국내에서도 연구개발이 활발히 추진되고 있다. 이 용탕단조법의 실용화는 1940년대에 소련¹⁾에서 처음 이루어졌으나 본격적인 주조생산법으로서 주목은 Ube와 Toyota에서 용탕단조 전용주조기를 개발²⁾하기 시작한 70년대 후반부터이다. 지금까지 용탕단조법에 대한 연구와 개발은 수직가압 프레스를 이용하여 금형에 주입된 용융금속을 직접가압응고(plunger type or direct squeeze casting)시키는 방식으로 이루어졌다. 이 경우 건전주물 제조효과는 뛰어나지만 공업용 주조품을 양산하기 위해서 정량급

탕, 제품의 편리한 이형방안, 제조형상의 제약 및 생산성 등의 문제점 해결이 요구되었다. 그 방안으로 각종 용탕단조 전용주조기가 연구개발이 되었고 대표적으로 Ube Type squeeze casting machine이 있다. Fig. 1은 이 장치의 개략도로서 제조원리를 보면 다음과 같다. 이것은 금형하단부에 주탕 및 가압용 사출 실린더가 있고 여기에 용탕을 받는 주입 sleeve가 있어 여기에 준비된 용탕을 주탕하고 이 슬리브를 금형 수직하부로 tilting한 뒤 슬리브를 금형탕구부에 상승 밀착시키고 가압 plunger로 슬리브내의 용탕을 금형 속으로 기계적으로 주입 및 연속가압하여 응고를 완료시킨다.

그 동안의 용탕단조 연구보고^{3~5)}들은 주로 직

* 한국과학기술연구원 경량합금연구실(Light Alloys Lab., Korea Institute of Science and Technology)

**염광금속공업(주) 생산기술부(Dept. of Foundry, Youm Kwang Metal Ind. Co. Ltd.)

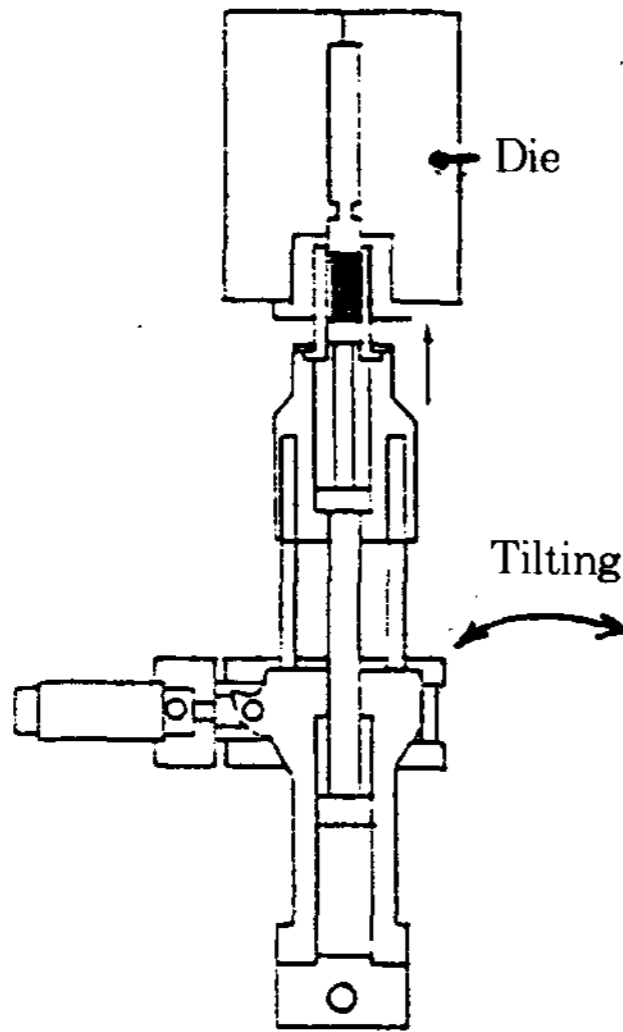


Fig. 1. Schematic of Indirect squeeze casting machine(Ube type HVSC)

접가압방식에 대해서 이루어져 왔고 실용화가 되고 있는 간접가압(Indirect squeeze casting)방식의 용탕단조 조직과 그 특성에 대해서는 조사되어진 바 적다.

본 연구는 과공정 Al-Si합금에 속하는 B390 알루미늄합금을 소재로 하여 원통형 금형(Die)에서 주형주조와 직접가압 용탕단조실험을 하였다. 같은 소재로 양산되는 에어컨 실린더의 다이캐스트 제품과 간접가압 용탕단조법으로 개발된 제품을 가지고 주조방식에 따른 응고조직과 그 기계적 특성을 비교하여 살펴보았다. 열처리에 따른 미세조직과 기계적 성질들도 조사하여 보았다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 B390 알루미늄합금의 화학 조성을 습식분석한 결과 Table 1과 같이 나타났다. 금형주조와 직접가압 용탕단조시료는 Fig. 2의 금형으로 주조하였다. 직접가압장치는 50톤 유압 프레스로서 가압 RAM을 하강시켜 용탕단조를 하

였다. 이때 시료 크기는 직경 50mm 길이 110mm의 봉상이며 용탕주입 온도는 730~750°C이고 금형온도는 250°C이다. 가압력은 100MPa이고 유성 흑연계 이형제를 사용하였다.

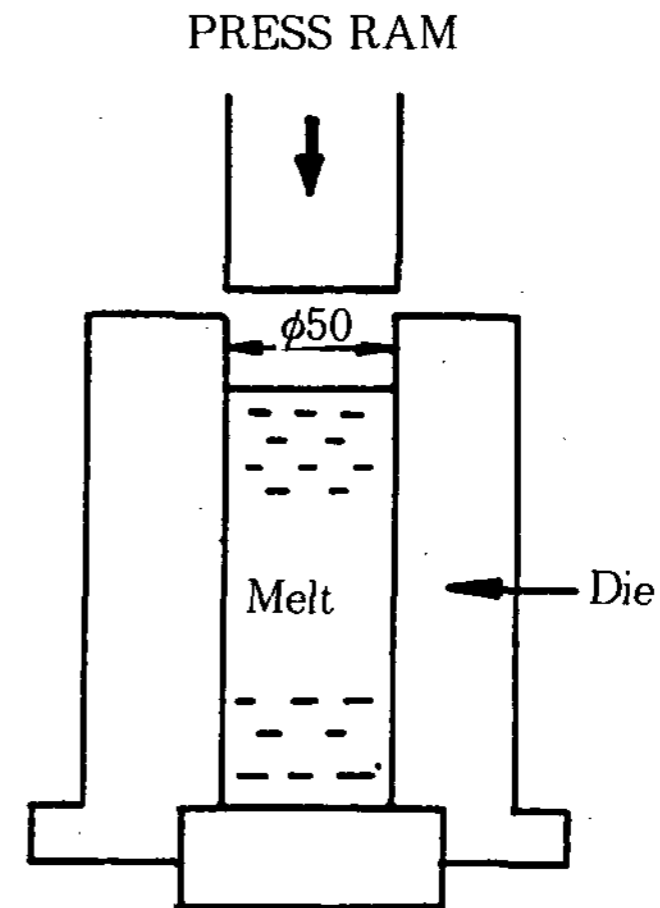


Fig. 2. Schematic of direct squeeze casting die

공업제품의 주조는 주조업체에서 보유한 양산용 500톤 다이캐스팅기와 Ube type HVSC 350톤 용탕단조기로 하였다. 이 주조기는 다이캐스팅의 주입 및 운반은 용탕 sleeve를 이용하여 주탕된 뒤 금형하부로 tilting과 금형에 docking하고 하부의 가압 plunger를 상승시켜 주조와 가압 응고를 연속적으로 진행하게 한다. Fig. 3은 이러한 간접가압 용탕단조로 주조한 B390소재의 실린더 주조품의 모습이다. 이 제품은 원통형상을 기초로 제품외부의 두께가 5mm이고 탕구(gate) 부근의 두꺼운 부위는 약 20mm가 되는 복잡한 모양으로 다이캐스팅으로서 주물의 건전성을 향상하고자 용탕단조법으로 제조를 하였다. 간접가압방식의 용탕단조 제조조건들도 직접가압조건들과 같으며 용탕의 금형주입시 사출 plunger의 속도는 약 70mm/sec이다. 한 cycle은 약 70초이다. 이때 용탕은 300kg 전기저항 유지로에서 금탕하며 먼저 탈가스처리와 Si 미세화 약품처리를 하고 20분 진정후 주조하였다.

Table 1. Chemical analysis of B390 Al alloy casting

Element	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Al
Content(w%)	16.6	0.67	4.21	0.64	0.12	Balance



Fig. 3. View of B390 Al alloy aircon casting by indirect squeeze casting process

각 응고조건에 의해 얻어진 시료들은 수직 중심 단면을 잘라 Tucker시약(45ml HCl, 15ml HNO₃, 15ml HF, 125ml H₂O)으로 부식하여 육안조직을 관찰하였다. 시료의 내부 미세조직들은 연마후 0.5% HF 수용액으로 부식하여 금속 광학현미경으로 관찰하였다. 봉상의 시료가 얻어지는 금형주조와 직접가압 용탕단조 B390 재료에서는 Fig. 4 (a)의 인장시편을 만들었고 공업제품의 다이캐스트와 간접가압 용탕단조재에서는 Fig. 4 (b)의 시편으로 인장시험을 하였다. 인장시편에서 브린넬경도를 측정하였다. 측정방법은 하중 500kg으로 5개의 평균을 구하였다.

각 시료들의 응고상태와 함께 T5(230°C × 8hr)

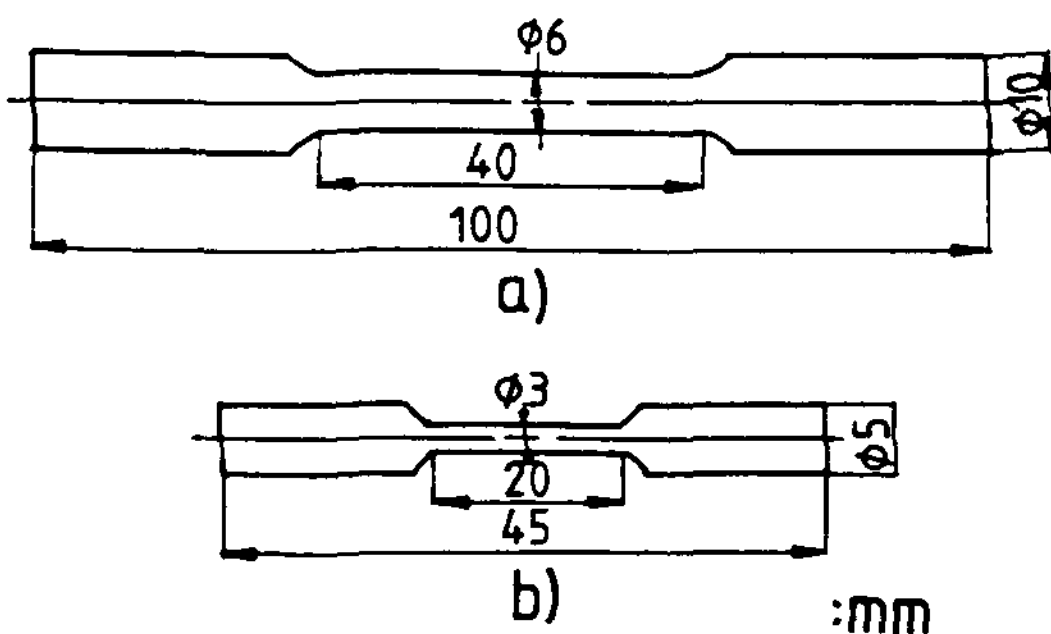


Fig. 4. Geometry of tensile specimen of castings ; (a) permanent mold casting and direct squeeze casting (b) die casting and indirect squeeze casting

와 T6(500°C × 8hr → W.Q. → 180°C × 8hr)처리시 조직과 기계적 성질의 변화를 살펴보았다. 이때 열처리 시간에 따른 변화를 조사하기 위해 용체화시간을 2, 4시간으로 하고 시효시간은 4시간으로 한 경우도 알아보았다.

3. 실험결과

3.1 육안조직 관찰

Fig. 5 (a), (b)는 직경 50mm의 원통 금형에서 주조된 금형주조와 직접가압 용탕단조 B390 합금시료의 수직단면 육안조직들이다. 금형주조 시료의 상부와 중심에서는 조대한 수축공과 기포들이 생성되어 있고 표면에서 중심으로 주상정이 발달하여 있고 중심부에 일부 등축정이 있다. 직접가압 용탕단조 시료는 주조결함들이 전혀 없으며 전반적으로 등축정 조직을 이루고 있다.

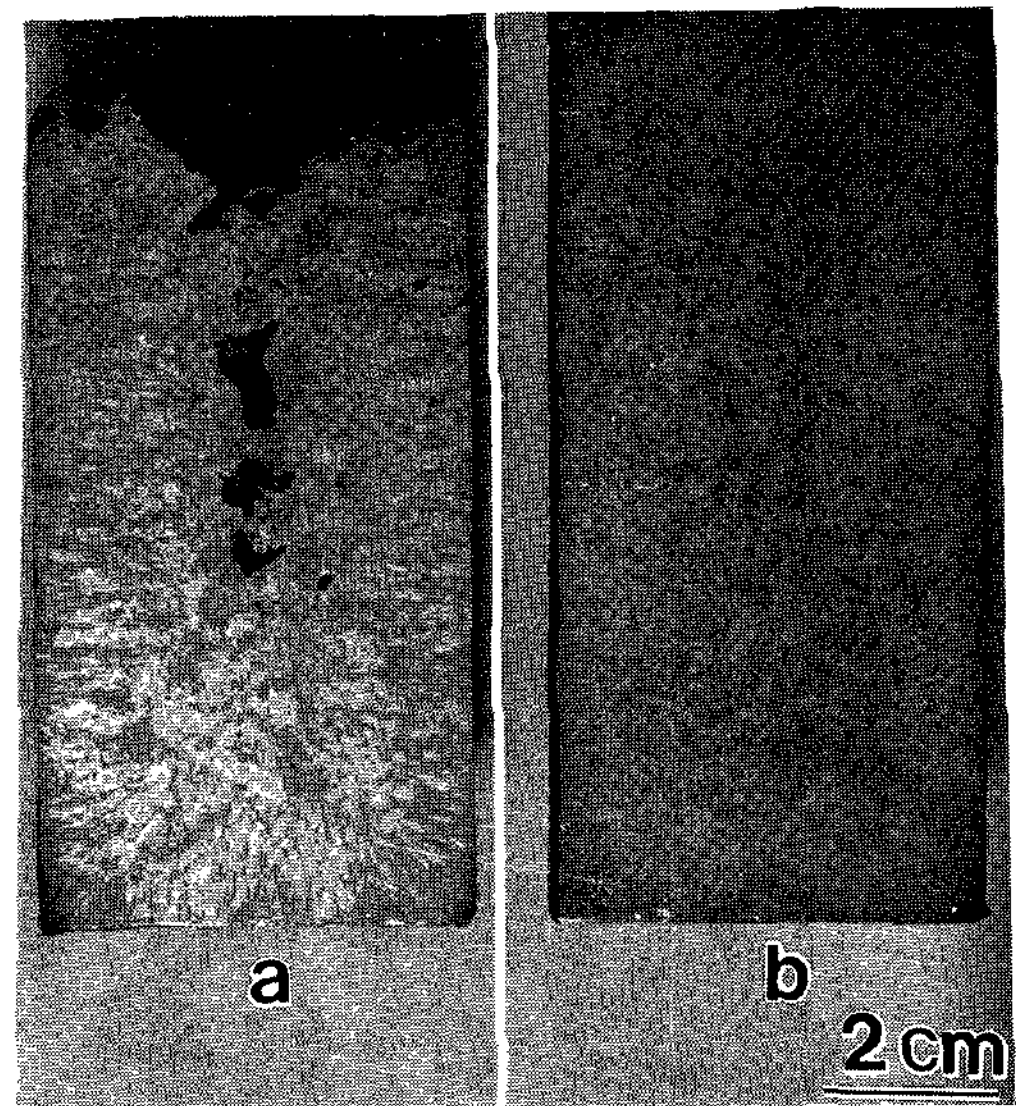


Fig. 5. Macrostructure of cylinder castings by permanent mold casting(a) and direct squeeze casting process(b)

Fig. 6 (a), (b), (c)는 다이캐스팅과 간접가압 용탕단조로 주조된 B390 소재 실린더제품의 수직단면 육안조직들이다. Fig. 6 (a)에서 나타난 다이캐스트 육안조직은 작은 기공들이 전반적으로 관찰되고 있다. 이 조직의 하단부에 원통 형태의 경계층(▼표

시)이 관찰되었다. 이는 제품의 구조상 다른 부위에 비해 크게 두꺼운 곳으로 다이캐스트 특성상 조대한 주조결함의 생성을 방지할 수 없으므로 일차의 용탕사출후 이차로 금형에 설치한 별도의 가압 실린더를 이용하여 이 부위를 가압시켜 결함을 억제할 것이다. 그러나 기타 부위의 미세결함의 생성에는 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6 (b)의 간접가압 용탕단조 조직은 초기 주조품으로 탕구 근처의 두꺼운 주물부위에 주조결함이 나타났다. 이에 대해서 주조조건을 변경하여서는 주조결함을 억제할 수 없었다. 따라서 용탕단조 제품 금형에서 탕구의 크기와 형상을 개선한 결과 Fig. 6 (c)의 건전한 주조품이 얻어 졌고 다이캐스팅처럼 주물내에 2차가압이 필요하지 않았다.

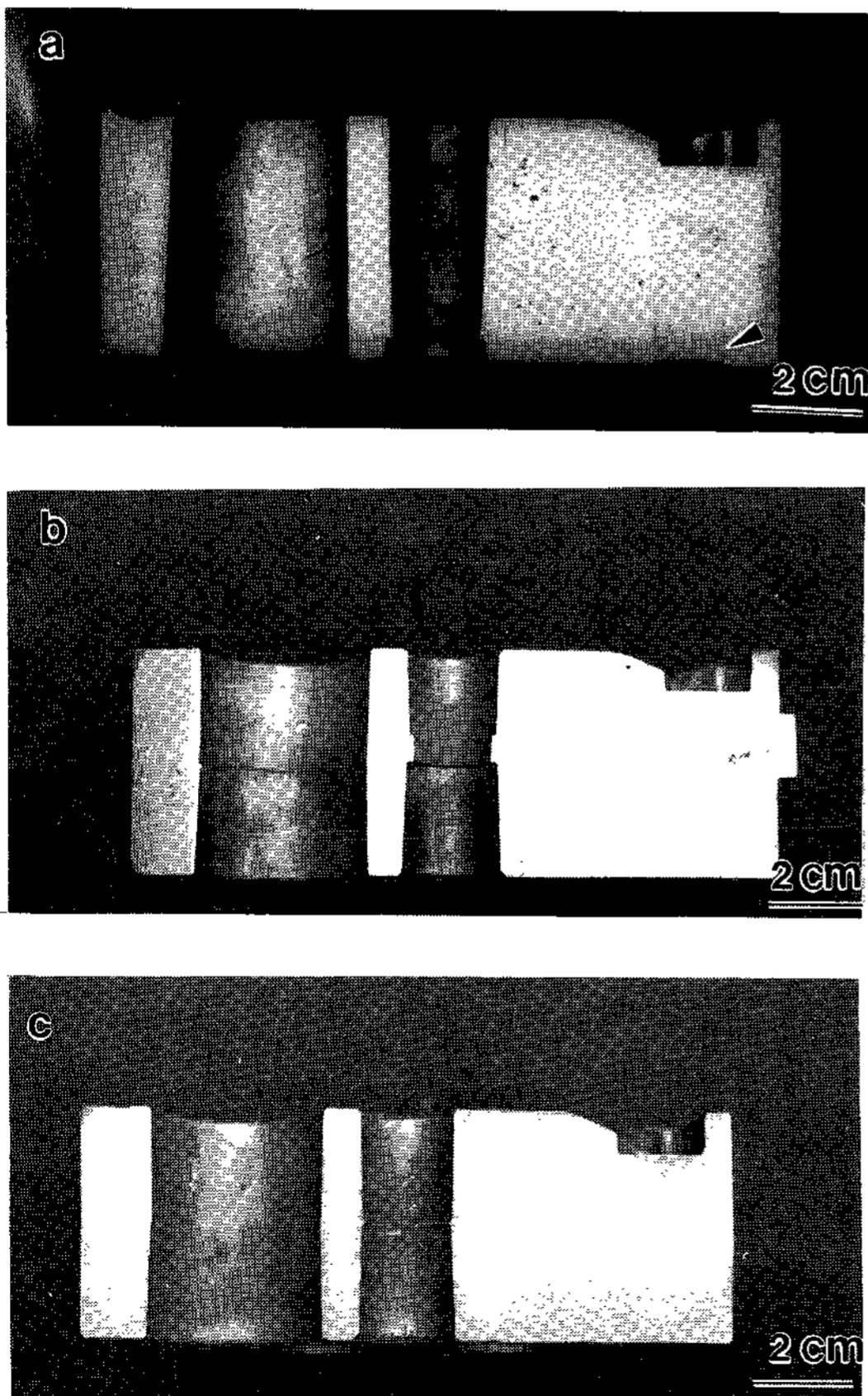


Fig. 6. Macrostructure of aircon castings by die casting(a) and indirect squeeze casting process(b:initial, c:modified product).

3.2 미세조직 관찰

Fig. 7은 응고방식에 따른 B390합금의 응고 미세조직의 광학현미경 사진들이다. Fig. 7 (a)는 금형주조 조직으로 40~65 μ m크기의 조대한 초정 Si가 생성되어 있고 주위에 작은 Al상이 존재하고 나머지는 수지상 Al과 flake 형태의 공정 Al-Si 조직으로 구성되어 있다. Fig. 7 (b)는 금형주조 시료와 같은 원통 금형에서 100MPa로 용탕단조 응고 조직으로 초정 Si가 10~30 μ m으로 미세화가 되어 졌고 Al 수지상 조직은 감소하고 flake 상의 공정 Al-Si 조직이 증가하였다. Fig. 7 (c)는 다이캐스트 제품의 응고 미세조직으로 초정 Si이 6~20 μ m으로 더욱 미세화가 되어졌으나 분산이 되지 않고 일정한 폭의 밀집지역을 이루고 있었다. 나머지는 Al 수지상과 미세한 flake상의 공정 Al-Si 조직을 보이고 있다. Fig. 7 (d)는 간접가압 용탕단조제품의 응고 미세조직으로 초정 Si가 5~20 μ m으로 다이캐스트와 비슷한 크기를 보이고 있고 그보다 현저히 균일하게 분산되어 있다. 나머지는 주로 flake상의 공정 Al-Si 조직으로 나타났다.

Fig. 8은 다이캐스트와 간접가압 용탕단조 제품의 표면부 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것이다. Fig. 8 (a)의 다이캐스트 제품의 경우 표면에서 0.2~0.4mm 내부까지 초정 Si가 없는 Depletion zone이 관찰되었다. 그에 비해 Fig. 8 (b)의 용탕단조 제품은 표면부터 내부로 가면서 균일하게 초정 Si들이 분산분포하고 있다.

Fig. 9는 T6열처리한 B390합금 소재의 응고방식에 따른 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것들이다. Fig. 9 (a)의 금형주조 조직에서 공정 Si들이 flake에서 입자상이나 봉상으로 구상화가 되어졌고 초정은 변화가 없었다. Fig. 9 (b)의 직접가압 용탕단조에서도 공정 Si들이 구상화가 이루어졌으며 보다 조대하게 나타났다. Fig. 9 (c)의 다이캐스트 제품의 조직에서는 공정 Si의 구상화와 입자상으로 변화가 촉진되어졌고 미세기포들이 다수 관찰되었다. 초정 Si의 일부 미세한 것들도 구상화가 되었다. Fig. 9 (d)의 간접가압 용탕단조 제품의 조직에서는 다이캐스트와 같이 공정 Si의 구상 입자화가 현저하게 이루어졌고 미세하였다.

Fig. 10 (a), (b), (c)는 용체화시간을 2, 4, 8시간

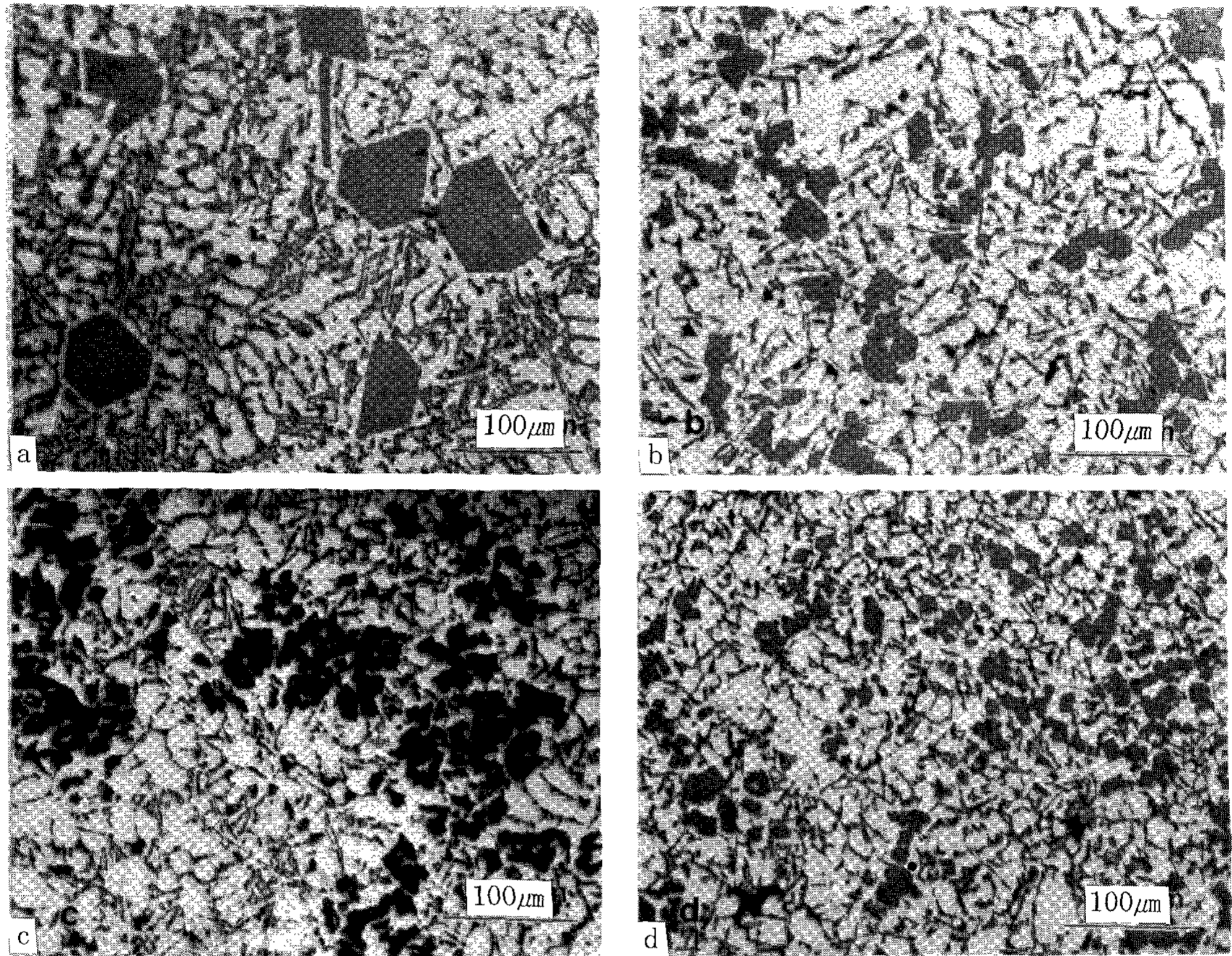


Fig. 7. Macrostructure of B390 Al alloy castings by permanent mold casting(a), direct squeeze casting(b), die casting(c) and indirect squeeze casting(d) process

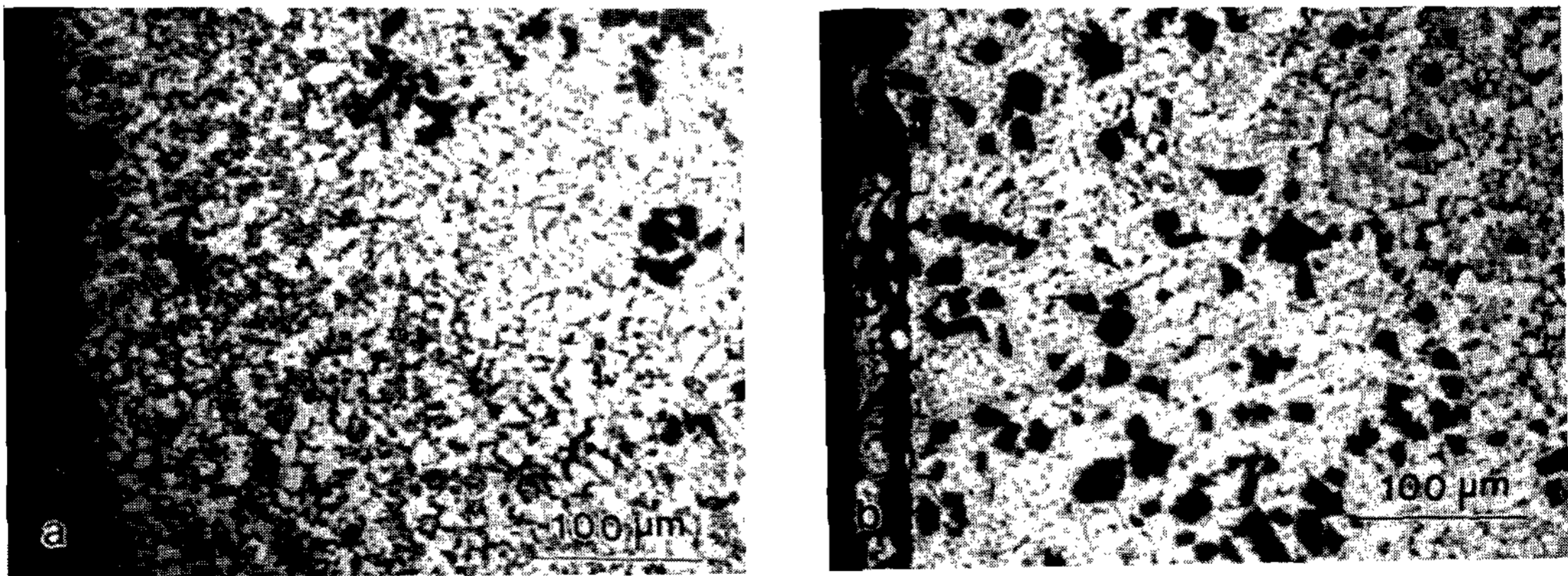


Fig. 8. Macrostructure of surface in B390 Al alloy aircon casting by die casting(a) and indirect squeeze casting(b) process

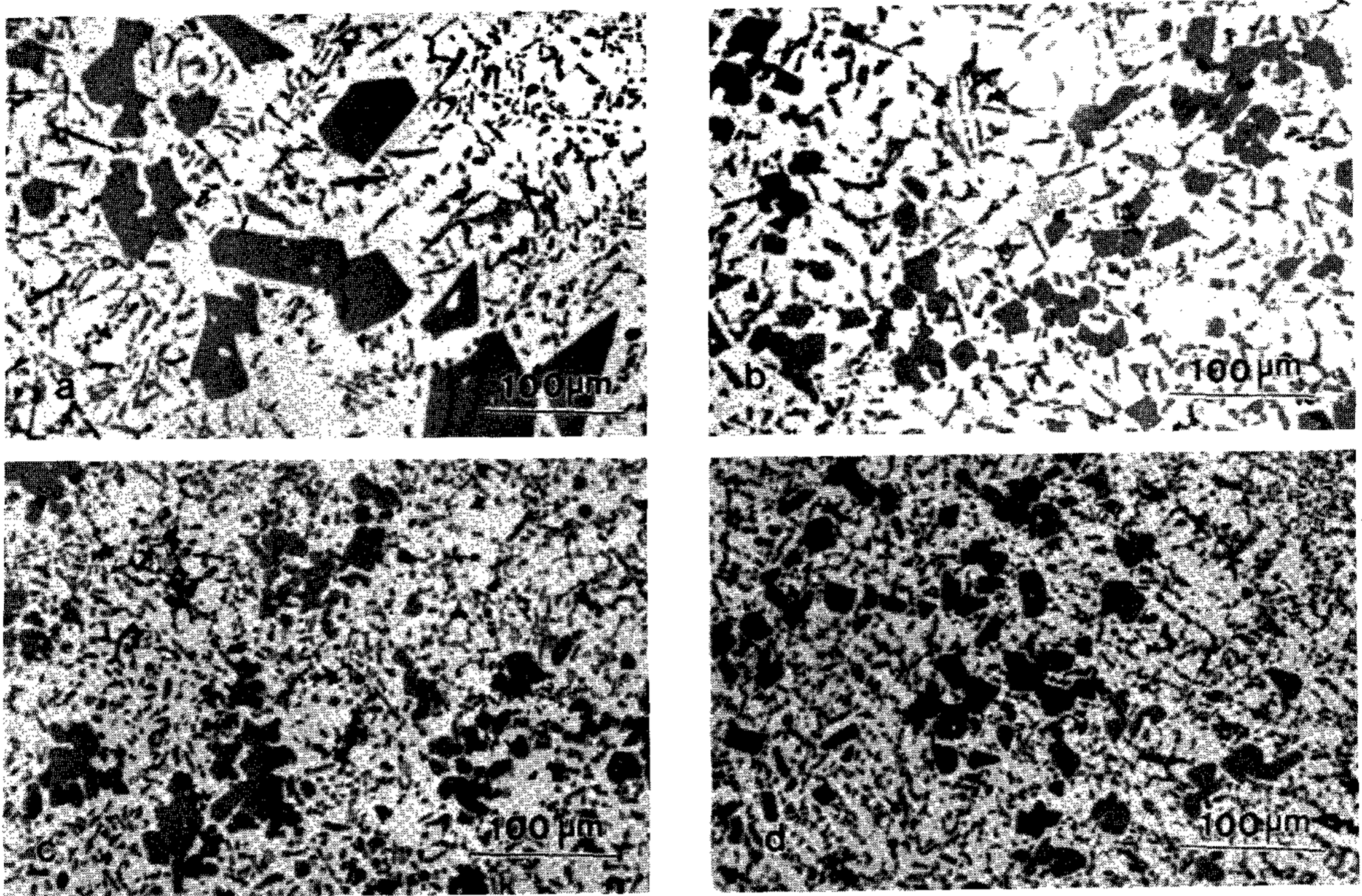
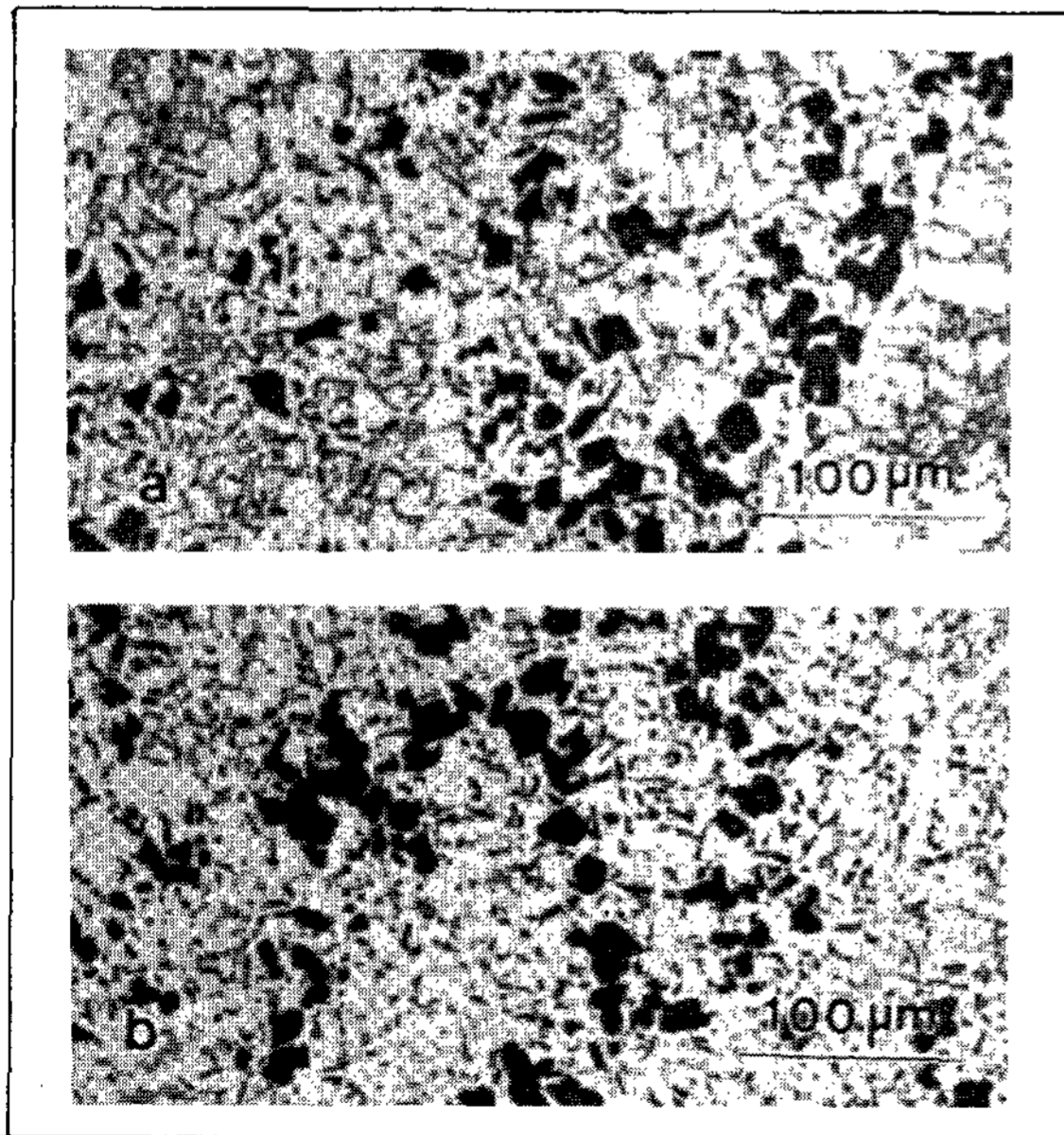


Fig. 9. Microsturcture of T6 heat treated B390 Al alloy casting by permanent mold casting(a), direct squeeze casting(b), die casting(c) and indirect squeeze casting(d) process



으로 하여 T6열처리한 간접가압 용탕단조 제품의 미세조직을 관찰한 것이다. Fig. 10 (a)의 2시간 용체화한 경우 Al 수지상 부근에 위치한 공정 Si들은 구상화가 이루어지고 있으나 공정 Si들이 밀집된 부위에는 용고조직이 유지되고 있었다. Fig. 10 (b)의 4시간 용체화 처리시 전반적으로 공정 Si의 구상화가 이루어 졌으며 Fig. 10

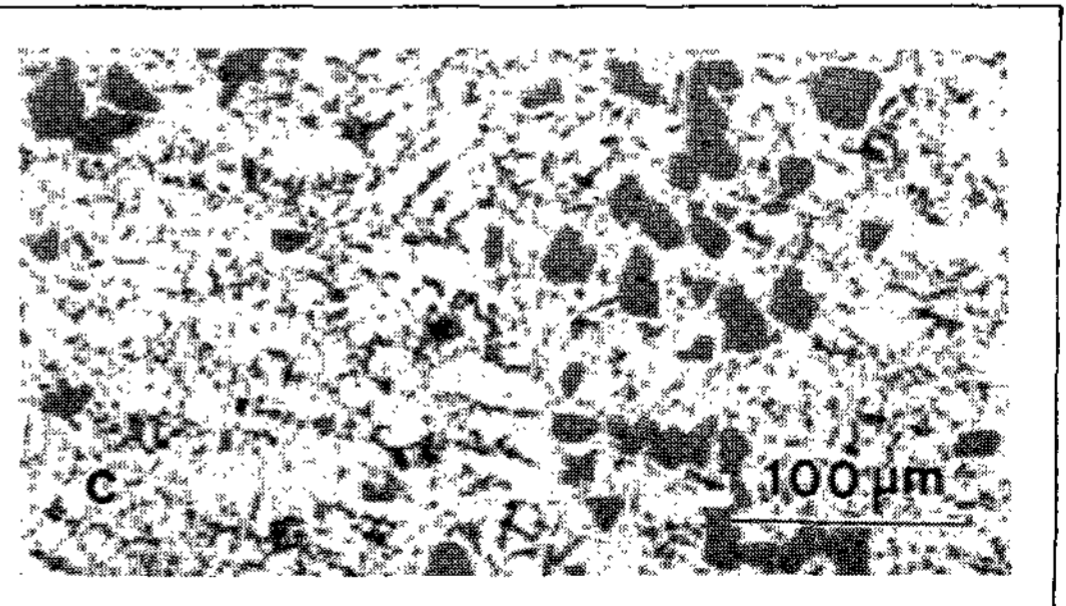


Fig. 10. Microstructure of indirect of indirect squeeze casting by solution treated for (a) 2hr, (b) 4hr, (c) 8hr Primary Si phase Die Melt Die Melt Primary Si Depletion zone solidified skin (a) Die casting (b) Indirect squeeze casting

(c)의 8시간 용체화처리에는 보다 구상화가 촉진되고 조대화가 일부 되고 있다.

3.3 주조방식에 따른 B390 합금의 기계적 성질

Table 2는 B390 합금을 소재로 하여 금형주조, 직접가압 용탕단조, 다이캐스트 제품과 간접가압 용탕단조 제품들의 주조상태, T5 및 T6 열처리에 따른 인장강도와 브린넬 경도를 측정하여 나타낸 것이다. B390 합금의 인장시험에서는 연신율이 주로 1% 미만이었고 항복강도(0.2% off set)는 대부분 인장강도와 같게 나타났다.

주조상태에서는 인장강도는 다이캐스트, 간접가압 용탕단조, 금형주조 및 직접가압 용탕단조 순으로 높아졌다. 브린넬 경도는 다이캐스트, 금형주조, 직접가압 용탕단조와 간접가압 용탕단조 순으로 높게 나타났다.

T5 안정화 열처리한 경우 주조상태에 비해서 전반적으로 인장강도가 2~5kg/mm² 증가하였고 금형주조가 용탕단조보다 다소 높아졌다. T5 열처리시 경도는 금형주조의 경우 변화가 없었으나 용탕단조는 약 3~5HB 값이 감소하였다.

T6 열처리한 경우 인장강도는 주조상태에 비해 약 10kg/mm²정도 증가하였다. 인장강도는

다이캐스트, 간접가압 용탕단조, 금형주조와 직접가압 용탕단조 순으로 높게 나타났다. 이때 경도는 116~150HB의 범위를 가지고 있으며 금형주조, 다이캐스트, 직접가압 용탕단조와 간접가압 용탕단조 순으로 높게 나타났다.

Table 3은 용체화처리시간을 각각 2, 4, 8시간으로 할 때 B390 간접가압 용탕단조 주물의 T6처리 인장강도는 26.3kg/mm², 30.0kg/mm², 28.9kg/mm²가 됨을 보여주고 있다. 여기서 용체화시간이 8시간인 경우보다 4시간일 때 인장강도가 최고가 되었으며 경도의 경우 2, 4시간 용체화처리한 값이 8시간 처리한 것과 같은 HB 150으로 나타났다.

4. 고 찰

4.1 응고조직에 대한 용탕단조 효과

용탕단조의 최대효과는 주조결함의 억제에 의한 건전제품의 제조에 있다. 이러한 용탕단조 효과를 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 그러나 Fig. 6에서 보면 간접가압 용탕단조에서는 이러한 효과가 주조조건을 제어로서 얻는데에 한계가 있으며 다이캐스트와 같이 적절한 금형의 탕구방안을 사용하여야 건전제품의 양산이 가능하게 되었다.

Table 2. Mechanical properties of the B390 Al alloy castings by several casting process

Casting process	Condition	Tensile strength kg/mm ²	Hardness HB500kg
Permanent mold casting	F	18.9	110
	T5	24.3	110
	T6	31.9	116
Direct squeeze casting	F	21.0	114
	T5	23.0	111
	T6	38.3	148
Indirect squeeze casting	F	18.0	116
	T5	22.6	111
	T6	28.9	150
Die casting	F	16.4	106
	T5	-	-
	T6	23.6	136

Table 3. Mechanical property of B390 Al alloy aircon casting by T6 conditions

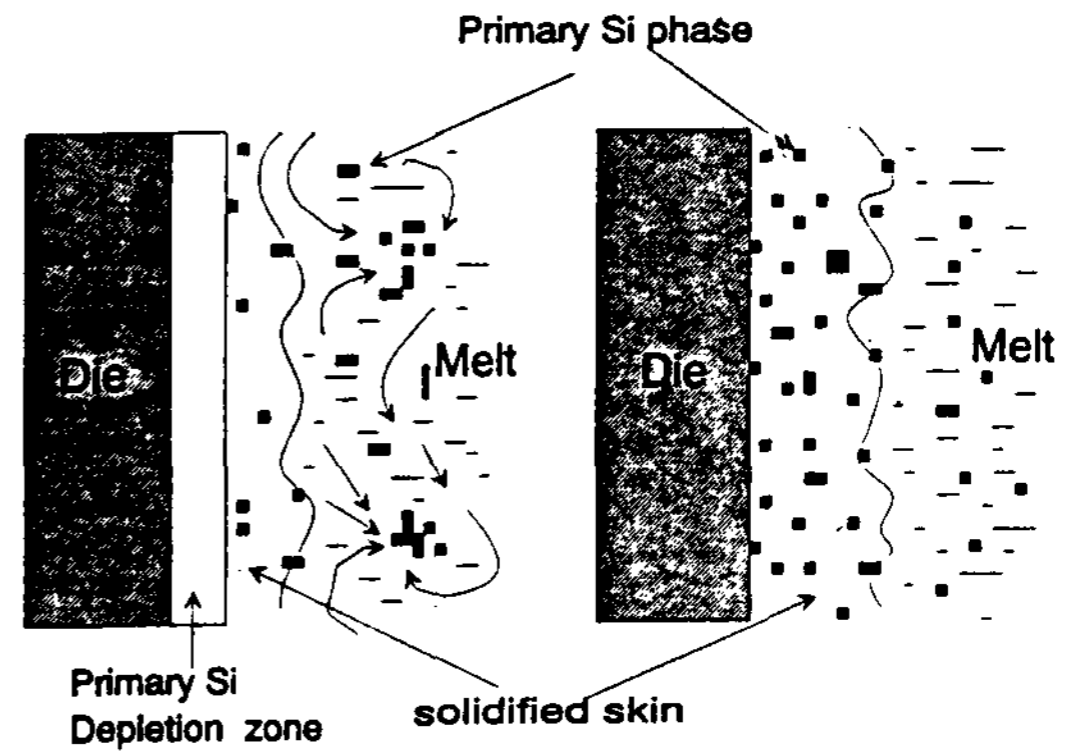
Solution time/Aging time	2hr/4hr	4hr/4hr	8hr/8hr
Tensile strength(kg/mm ²)	26.3	30.0	28.9
Hardness(HB)	150	150	150

즉 용탕단조시에도 주물의 두꺼운 부위에 용탕의 공급과 가압이 효과적으로 유지되게 탕구의 형상과 크기를 최적화 하는 것과 용탕의 금형공간에 주입시 흐름을 안정시키는 것이 중요함을 알 수 있다.

과공정 Al-Si합금의 하나인 B390 알루미늄 합금은 초정도로 생성되는 Si상의 미세화와 균일분산 정도에 따라 주기능인 내마모, 강도, 치수안정성 등이 영향을 받는다. Fig. 7에 나타난 주조방식에 따른 초정 Si의 미세화는 금형주조를 제외한 다이캐스트와 용탕단조 두방식에서 30 μ m 이하로 효과적으로 이루어졌으며 그중 간접가압 용탕단조 조직이 가장 미세화와 균일분산이 되었다. 이러한 조직은 금형주조에 비해 용탕단조시에 금형으로 열방출이 크게 증가하여 급냉응고가 되어진 것으로서 특히 간접가압 용탕단조의 경우 주조품의 두께가 직접가압 용탕단조재보다 작고 금형의 수냉효과가 있어서 보다 급속냉각이 되어서 가장 미세화된 초정 Si과 공정조직이 얻어진 것으로 고려된다.

Fig. 8에 나타난 B390 합금의 표면부에서 다이캐스트의 경우 초정 Si이 없는 depletion zone이 관찰되었으나 간접가압 용탕단조시 없었다. 이러한 depletion zone의 생성이 금형에 용융금속을 사출주조시에 표면에서 급냉응고하면서 형성된 chill 조직으로 보고⁶⁾되어 있다. 이러한 설명이라면 간접가압 용탕단조시에도 표면에서 급냉응고가 이루어지므로 같은 경향을 보여야 하는데 본 연구에서 발견되지 않았다. 따라서 표면에서 초정 Si의 발생은 급냉응고의 영향보다는 주입시에 용탕의 흐름의 영향을 받는 것으로 Fig. 11과 같은 생성기구를 고려할 수 있다. 즉 용탕의 유속이 30~40m/sec 정도로 빠르고 난류 형태의 다이캐스트에서는 표면에서 생성되어 있는 실리콘 초정들이 용융상태인 주물 내부로 유입되어져 Fig. 7 (c)와 같은 초정들이 밀집되어 있고 표면에는 거의 발견할 수 없게 된 것으로 보인다. 그에 반해 간접가압 용탕단조시 유속이 0.2~0.6m/sec 정도로 느리므로 금형내에 용탕이 충전후에 금형표면에서 응고가 시작되는 상태에서는 용탕의 유동이 거의 없어져서 주물 표면에서 생성되는 초정 실리콘들이 주물 내부로 이동이 거의없이 응고진행에 따라 일정한 위치에서 점진적으로

성장하고 이러한 응고 경향이 주물 중심까지 이어져 전반적으로 균일한 초정분산이 나타난 것으로 고려할 수 있다.



a) Die casting b) Indirect squeeze casting

Fig. 11. Schematic diagram of primary Si depletion of hypereutectic B390 Al alloy casting surface

용체화 열처리시에 공정 Si의 미세화와 구상화가 이루어진다. Fig. 9에 나타난 T6 열처리 조직을 보면 50mm 직경의 봉상으로 주조된 금형주조와 직접가압 용탕단조 시료가 복잡형상의 주조품으로 다이캐스트나 간접가압 용탕단조 시료에 비해서 공정 Si이 미세화와 구상화 정도가 작게 나타나 있다. 이러한 결과는 시료가 다르기 때문에 주조조직에서부터 미세화의 차이가 있어서 조대한 공정 실리콘들이 있는 봉상시료에서는 같은 열처리조건에서 얇고 보다 급냉효과가 큰 주조품 시료에 비해 구상화가 완만하게 진행되어진 결과로 고려된다.

같은 시료일 경우 봉상시료에서는 용탕단조 조직이 중력주조 조직에 비해서 공정 실리콘의 미세화가 현저하게 나타나 있으나 주조품에서는 다이캐스트나 용탕단조의 조직이 거의 차이가 없는 미세화 정도를 보이고 있다. 이러한 결과는 두꺼운 봉상시료에서는 용탕단조에 의해 금형으로 열방출이 크게 증가하여 급냉응고가 촉진되어 조직 미세화가 현저하여 지지만 주조품의 경우 두께가 얇고 주조방식이 다이캐스트나 간접가압 용탕단조법이 모두 급냉응고의 효과를 보이므로 응고조직의 차이가 적고 그에 따른 열처리조직에서도 공정조직의 미세화와 구상화가 비슷하게 나타난 것으로 고려된다.

4.2 기계적 성질에 대한 용탕단조 효과

Table 2에 나타난 B390 합금의 기계적 성질에 대한 용탕단조 효과는 주조상태에서는 직접가압방식일 때 인장강도가 가장 높고 간접가압은 금형주조보다 다소 낮았고, 다이캐스트가 가장 낮았다. 경도는 용탕단조재들이 높고 금형주조, 다이캐스트 순으로 낮게 되었다. 간접가압 용탕단조 주물의 조직이 직접가압방식에 비해 미세화가 되어 있으나 강도는 낮게 나타나 있는데 이것은 인장시료를 제품의 얇은 제품에서 채취하여 그대로 시험한 것으로 미세한 표면 결함이나 미세 기공들의 악영향이 봉상의 bulk 인장시편인 금형주조나 직접가압 용탕단조재보다 현저하게 작용한 것으로 고려된다. 이러한 경향은 T5나 T6 열처리한 기계적 성질에도 주조방식에 따라 비슷하게 나타나고 있다. 주조품의 T6 열처리 경도는 용탕단조시 최고의 값을 보이고 있으나 미소 결함의 영향으로 T6 인장강도는 최고 30kg/mm²에 머무르고 있다. 이러한 경향을 고려하여 실제 제품에 얻어지는 용탕단조품의 기계적 성질들은 직접가압방식의 결과보다 낮은 특성이 될 수 있음을 고려하여 제조하여야 하겠다.

공업적으로 B390 알루미늄 합금의 T6 열처리 조건은 보통 500°C, 8hr 용체화처리를 하고 수냉후 시효처리를 180°C, 8hr하는 것이다. 이러한 조건에 대하여 용탕단조시에 조직의 변화와 급냉응고효과가 나타나므로 기존조건보다 적절한 열처리 조건의 변화-열처리 시간의 단축이 고려될 수 있다. 이러한 가능성을 살펴보고자 열처리 온도는 그대로 두고 각 용체화 및 시효시간을 감소시켜 일반적인 공정을 거친 주조품의 기계적 성질을 조사한 것이 Table 3에 나타나 있다. 여기서 나타난 B390 알루미늄 합금의 간접가압 용탕단조품의 T6 열처리 조건은 500°C 4hr 용체화처리를 하고 수냉후 시효처리를 180°C, 4hr하는 것이 양호하여서 종래 열처리시간을 반으로 단축하는 공정상의 이점을 알 수 있다.

5. 결 론

주조용 B390 알루미늄 합금의 금형주조, 직접가압 용탕단조, 다이캐스팅 및 간접가압 용탕단조법으로 제조한 주조품과 열처리시료들의 금속

조직과 그 기계적 성질을 조사하여 다음의 결과가 얻어졌다.

1) 직접가압 및 간접가압방식의 용탕단조법에 의해 금형주조나 다이캐스트의 주조결함이 효과적으로 제거되었다. 간접가압식에서 건전한 주물을 제조하기 위해서는 탕구방안이 중요한 요인으로 나타났다.

2) 초정 Si의 미세화와 균일분산 정도는 간접가압 용탕단조시 가장 효과적이다.

3) 다이캐스트 제품의 표면에는 초정 Si의 Depletion zone이 생성되어 있으나 간접가압 용탕단조 제품에는 표면부터 전반적으로 균일한 초정 실리콘이 분포되어 있었다.

4) 주조상태에서 인장강도는 봉상시료들이 주조품보다 높았고, 직접가압 주물이 가장 높은 값이고, 다이캐스트 주물이 가장 낮았다. 경도는 간접가압 용탕단조 주물이 가장 높고 다이캐스트 주물이 가장 낮았다.

5) T5 안정화처리시 각 주물들의 인장강도는 전반적으로 증가하였고, 금형주조한 봉상시료가 가장 높게 나타났다.

6) T6 열처리시 인장강도는 다이캐스트, 간접가압 용탕단조, 금형주조, 직접가압 용탕단조 순으로 높아졌고, 경도는 간접가압 용탕단조가 가장 높게 나타났다.

7) B390 합금의 간접가압 용탕단조재는 T6 열처리시간을 단축할 수 있다.

참 고 문 헌

1. M. Plyatskii : Extrusion Casting, Primary Sources, New York, (1965) 4
2. Y. Kaneko, H. Murakami, K. Kuroda and S. Nakasaki : Foundry Trade Journal, 2 (1980) 28
3. J. R. Franklin and A. A. Das : British Foundryman, 77 (1984) 150
4. G. A. Chadwick and T. M. Yue : Metals and Materials, (1986) 6
5. 한요섭, 이호인 : 한국주조공학회지, 7 (1987) 327
6. G. L. Armstrong : Die Casting Engineer, (1984) 10