

반용융 단조공정에 있어서 제조 조건이 성형성과 기계적 성질에 미치는 영향

정경득* · 강충길**

(2001년 2월 26일 접수)

The Effects of Fabrication Conditions on Forging Limitation and Mechanical Property in Semi-Solid Forming Process

K. D. Jung and C. G. Kang

Abstract

The homogeneous distribution of solid region without liquid segregation is important in terms of high quality component during thixoforging process. In closed die semi-solid forging process, liquid segregation is strongly affected by injection velocity than solid fraction because the material has to travel relatively long distance to fill the cavity through a narrow gate. The designed die by computer simulation data was used to thixoforging process. The thixoforging velocity to prediction the liquid segregation had been determined with strain rate associated with multistage velocity control during compression test of semi-solid material. The optimal forging velocity and die temperature were investigated to produce the near-net-shape compressor component. The mechanical properties of thixoforged component were tested with various die and material temperatures before and after heat treatment.

Key Words : Semi-Solid Forming, Liquid Segregation, Semi-Solid Materials

1. 서 론

압축기의 대용량 공조용은 로타리식에서 스크롤식과 터보식으로, 소용량의 가전 냉동용은 레시프로식에서 리니어식으로 상업화되어 가고 있다. 사용대수의 증가와 대용량화에 따라 소비전력이 많아지고, 환경규제에 의해

대체냉매의 적용성이 필수적으로 되게 됨에 따라 압축기의 습동부품에 대한 경량화, 내마멸 및 고윤활성이 요구되고 있다.

이상과 같은 이유 때문에 반용융 단조법에 의하여 내마모계 압축기 습동 제품을 개발하게 되면 기공이 비교적 적은 성형제품을 얻을 수 있고, 기계가공 공정을 생

* 부산대학교 대학원
** 부산대학교 기계공학부

략할 수 있는 가능성이 있다. 반응용 성형온도에서 소재의 점성이 액상상태 보다 더 높으므로 충전시 유동형태가 난류로 발달하지 않기 때문에 자유표면이 균일히 충전될 수 있다. 따라서 충전시 용탕의 흐름에 기인하는 가스 결함이 적어지는 등 여러 가지 장점들을 가지고 있다.

반응용가공은 구상화 조직상태에서 성형하므로 편석, 기공 등을 감소시킬 수 있고 변형저항이 작아 적은 하중으로도 가공한계성을 증대시킬 수가 있어 최근 새로운 가공법으로써 각광을 받고 있다^(1~3).

현재 응용되고 있는 대부분의 부품들은 자동차 부품의 경량화를 목적으로 엔진 브랏켓, 스테어링 너클, 마스터 실린더뿐만 아니라 변기 부품 같은 구조재에도 반응용 성형기술이 적용되고 있으며⁽⁴⁾ 향후 가전제품을 비롯하여 자동차 부품의 응용이 확대될 것으로 생각된다.

반응용 성형기술은 알루미늄을 100% 재활용 할 수 있는 환경친화적 성형기술로 자동차 산업뿐만 아니라 다양한 산업분야로 그 적용영역이 넓어지고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해서 본 연구에서는 기존 회주철 소재의 압축기 부품을 반응용 성형기술을 적용하여 알루미늄 부품을 개발하기 위하여 공정변수에 따른 성형한계성과 게이트형상에 대한 유동특성을 파악하였다.

전자교반법에 의하여 생산되고 있는 A357, 86S, A390과 같은 소재를 이용하여 부품을 성형 할 때 캐비티 내부의 재료유동특성을 파악하였으며, 또한 성형되어진 제품의 열처리 전후의 기계적 성질을 조사하여 부품으로써의 사용가능성을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 재가열 실험

반응용 성형을 위해서는 소재가 원하는 온도에서 적절한 구상화 조직을 가지도록 재가열하는 기술이 중요하다. 반응용 소재는 전자교반 또는 기계교반을 통해 수지상정 조직을 파괴, 분산시켜 재가열시 적절한 구상화 조직을 가지도록 제조한 소재이다.

Table 1 Chemical composition of ATLHIX⁽⁵⁾

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	Pb
A357	Min(%)	6.5	-	-	-	0.50	-	-	-	-
	Max(%)	7.5	0.15	0.03	0.03	0.60	0.03	0.05	0.20	0.03
86S	Min(%)	5.5	-	2.5	-	0.3	-	-	-	-
	Max(%)	6.5	0.15	3.5	0.03	0.4	0.03	0.05	0.20	0.3
A390	Min(%)	16.0	-	4.0	-	0.5	-	-	-	-
	Max(%)	17.0	0.4	5.0	0.1	0.65	0.01	0.05	0.20	0.03

본 실험에서 사용한 소재는 일반적으로 부품개발에 많이 사용되는 주조용 재료로 프랑스 페시니사에서 전자교반으로 제조되어진 A357, 86S, A390을 이용하였다. 재료의 화학적 성분은 Table 1에 나타내었다.

A390의 경우 A357, 86S와 달리 과공정 합금으로서 내마모성이 뛰어나고 반응용 상태에서 유동성이 좋기 때문에 앞으로 많은 부품개발이 기대되는 소재이다.

재가열 실험은 50Hz, 50kW용량의 유도가열로를 사용하였다. 온도구배가 적은 균일한 가열을 위해서 Fig.1에 나타낸 것처럼 계단식 3단가열의 조건에서 재가열하여 실험을 수행하였다.^(6,7)

Fig.1은 저자가 지금까지 연구한 방법을 토대로 3단가열에 의하여 얻어진 빌렛 단면의 구상화 정도를 나타낸 것이다. 단면 전체에 걸쳐서 양호한 구상화 정도를 얻을 수 있었다.

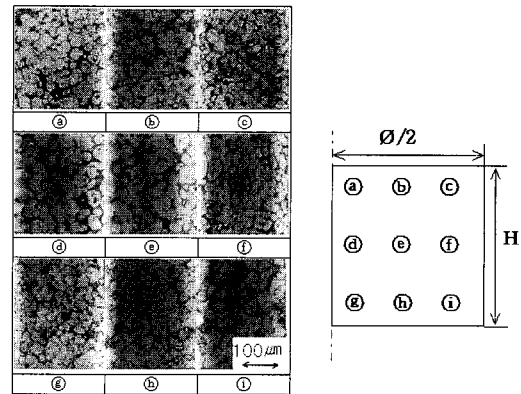


Fig. 1 Microstructure of A357 after reheating

2.2 반응용 성형실험

기존 주철재의 가전용 콤프레서부품을 알루미늄 소재로 대체하기 위해 오리피스형 단조금형을 이용하여 반응용 성형실험을 하였다.

성형실험은 가압력 80MPa, 충전 후 가압 유지시간을 20sec로 고정시키고 사출속도와 소재의 온도 그리고 금형의 온도를 변화시켜 가면서 성형을 하여 외관상 표면 결함이 없는 조건을 도출하였다. 금형을 예열하기 위해 1kW, ϕ 16mm 카트리지 히터를 사용하였다. 슬리브에 6개, 상부다이2개, 하부다이 10개의 카트리지 히터를 사용하였으며 슬리브와 하부다이에 ϕ 1.8mm의 홀을 가공하여 K-type 열전대를 삽입하여 금형온도를 측정하였다. 금형의 온도를 균일하게 하기 위해 원하는 온도까지 가열한 후 10분동안 유지하여 성형을 실시하였다.

소착(燒附)을 방지하기 위하여 슬리브에는 열간단조용 그라파이트계 윤활제를 캐비티부분에는 다이캐스팅용 이형제(Boron Nitride spray)를 사용하였고 성형이 끝난 후 제품을 취출함과 동시에 퀘칭을 하였다.

성형시 완전한 충전을 위해 게이트형상을 컴퓨터 시뮬레이션의 결과를 이용하여 수정하였으며 충전실험을 통해 유동양상을 파악하여 충전결함을 해결하였다.

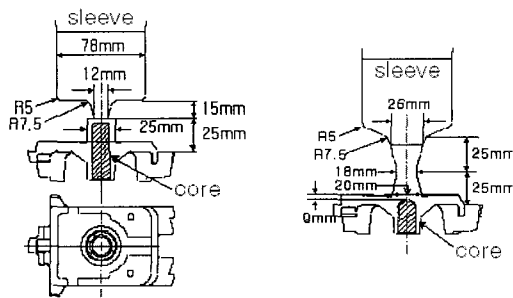
성형이 끝난 제품의 기계적 성질을 측정하기 위하여 인장, 경도, 마모시험을 실시하였으며 T5, T6 열처리후의 기계적 성질과 비교, 고찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 반응용 성형실험

3.1.1 게이트 형상에 따른 성형성

Fig.2 (a)~(b)는 초기설계시 게이트형상과 제품을 금형으로부터 쉽게 추출하기 위하여 최종적으로 제안한 게이트형상을 각각 나타낸 것이다. Fig.2 (a)는 초기 게이트형상으로서 대부분 제품의 충전율이 Fig.5 (c)에서 보여주는 바와 같이 90%이상으로 충전되지 않았다. 위의 원인은 세가지 정도로 요약된다. 먼저 게이트를 통과하는 소재가 캐비티에 충전되기 전에 중앙부 코아에 의해 방향이 바뀌어 제품의 끝단부까지 충분한 가압력이 전달되지 못하는 것으로 생각된다. 둘째는 슬리브를 빠져나온 소재가 코아를 지나면서 유동면적이 급격히 좁아지는 것도 원인으로 사료된다. 마지막으로 슬리브의 주입구 주위를 제외하고 모두 수평으로 되어있어 가압력의 손실이 많이 발생하는 것으로 생각된다.



(a) initial gating system (b) modified gate

Fig. 2 Gating system and modification

이러한 문제점을 해결하기 위해 Fig.2(b)에서 보여주는 바와 같이 중앙부 코아의 높이를 낮추고 끝부분을 둥글

게 수정하였다. 슬리브의 수평부분도 경사면으로 수정하였으며 가압력이 충분히 전달될 수 있도록 게이트의 직경을 크게 하여 Fig.2 (b)와 같이 수정을 하여 성형실험을 하였다. 수정된 금형의 치수는 MAGMA S/W를 이용하여 압력 분포를 계산한 후 최종적으로 제안한 금형의 형상을 나타낸 것이다.

Fig.2 (b)는 슬리브와 캐비티 사이 상부다이의 두께 (Gate의 높이)가 25mm로서 성형시 300℃의 예열이 필요하고, 금형은 항상 고온을 유지되면서 50ton이상의 하중이 순간적으로 작용하기 때문에 변형으로 인한 플래쉬 발생의 소지가 높다. 플래쉬가 발생할 때 금형의 가이드 편동으로 주입이 되어 금형이 분리되지 않거나, 금형을 분리할 때 금형 일부에 과도한 힘이 작용되어 변형이 생겨 많은 양의 플래쉬가 발생하였다. 이러한 문제점 때문에 Fig.2(b)에서 보여주는 바와 같이 금형상판에 해당하는 게이트의 전체높이를 50mm로 하였다. 그러나 슬리브와 캐비티사이의 거리가 멀어지므로 성형성을 유지하기 위해 게이트의 직경을 18mm로 확대하였으며 중앙부 코아의 높이를 9mm정도 낮추어 금형을 보완하였다.

3.1.2 성형성 평가

Fig.3 (a), (b)는 사출속도가 각각 300mm/s와 160mm/s인 경우 소재의 재가열 온도와 금형온도를 변수로 하여 반응용 단조실험을 하였을 때 성형성을 나타낸 것이다. Fig.3와 Table 2에서 나타낸 것처럼 소재의 온도가 높아지면 성형품의 끝단부에서 액상편석이 많이 발생하는데 이는 A357이 580℃이상으로 온도가 높아지면 고상율이 55%에 달하게 되는데 많은 액상성분의 함유가 유동성을 증가시키는 것으로 볼 수 있지만 오히려 충전 마지막 단계에서 액상편석(Liquid segregation)을 일으켜 결함발생의 원인이 된다. A357의 경우 580℃미만의 온도에서 성형하는 것이 적당하다. Table 1에는 포함되지 않았지만 575℃이상이어야 완전한 충전이 이루어지기때문에 Al 제품 성형시 A357의 재가열 온도는 575℃와 580℃사이

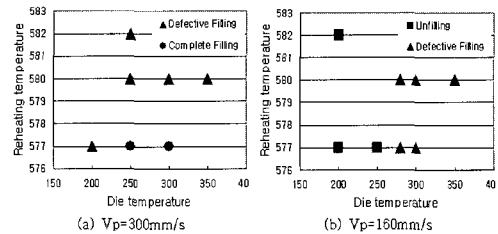


Fig. 3 Relationship between die and reheating temperature

반응용 단조공정에 있어서 제조 조건이 성형성과 기계적 성질에 미치는 영향

Table 2 Experimental condition with pressing 80MPa and pressign holding time(20sec)

Exp. no.	Die Temp. T_d (°C)	Material Temp. T_m (°C)	Injection Velocity V (mm/s)	Filling	Defects
1	200	577	160	U.F.	
2	200	582	160	U.F.	
3	200	577	300	D.F.	Liquid segregation at @
4	250	577	160	U.F.	
5	250	577	300	C.F.	
6	250	580	300	D.F.	Liquid segregation at @
7	250	582	300	D.F.	Liquid segregation at @
8	280	577	160	D.F.	Liquid segregation at @
9	280	580	160	D.F.	Liquid segregation at @
10	300	577	160	D.F.	crack at @
11	300	580	160	D.F.	Liquid segregation at @
12	300	577	300	C.F.	
13	300	580	300	D.F.	Liquid segregation at @
14	350	580	160	U.F.	
15	350	580	300	D.F.	

* U.F.:unfilling, D.F.:defective filling, C.F.:filling complete

에서 성형하는 것이 적당하다. 실험에서는 소재온도 577°C, 사출속도 300mm/s에서 가장 좋은 성형성을 보였다. 소재온도 577°C, 사출속도 300mm/s에서는 다이온도가 250°C의 경우와 300°C일 때 성형성의 차이는 별로 나타나지 않았다. 금형의 온도가 300°C가 되면 다이의 열팽창으로 가이드핀과 홀의 마찰이 커져서 금형의 개폐가

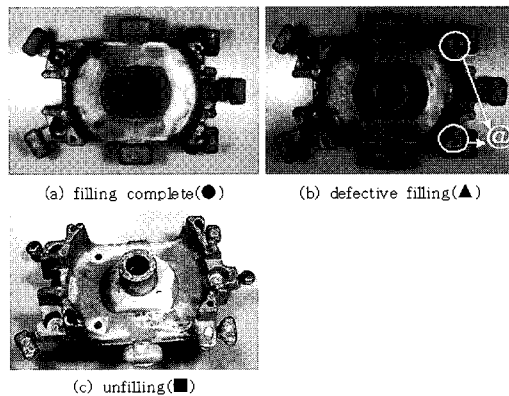


Fig. 4 Photos of products with various filling type(modified gate)

원활하지 못하였고 취출 핀 파손등의 문제들이 많이 발생하였다. 따라서 반응용 성형시 다이의 온도는 300°C이하가 바람직하다고 생각된다.^(8,9) 따라서 이후부터는 A357은 금형온도 250°C에서 제품을 성형하였다. Fig.4는 대표적인 각 충전 형태의 성형품을 나타내낸 것이다. 주결함 발생부위는 @위치이며 결함의 형태는 액상의 편석 현상이 주류를 이루고 있다.

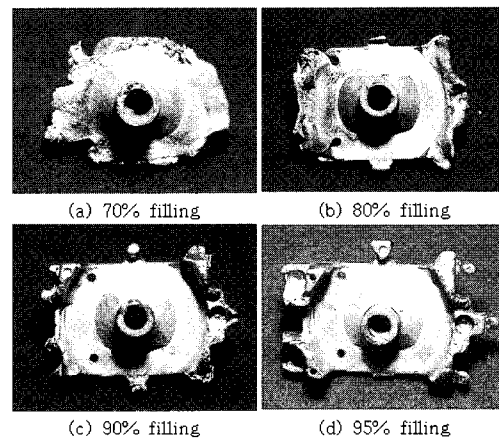


Fig. 5 Filling test for Al frame with modified gate(A357)

3.1.3 Filling test

Fig.5는 소재가 A357인 경우 사출속도 300mm/s, 소재 온도 577°C, 금형온도 250°C의 조건에서 실시한 충전 테스트의 결과를 나타낸 것이다. Fig5. (c) 의 90% filling까지는 비교적 균일한 충전양상을 보이고 있다. 그러나 충전을 90%부터 충전 양상이 변하고 있다. Fig.6은 충전을 90%이후의 유동 패턴을 도식적으로 표시한 것이다. Fig.6에 나타난 것처럼 @부분에서 양쪽 끝단부로 유동의 방향이 바뀌어지고 있으며, 또한 ①부분에서는 계속적으로 직선 방향을 유지하고 있다. ②부분도 경사부분에 의해 유동의 방향이 자연스럽게 변화하나 ④부분에서는 직선방향으로 충전이 이루어지고 난 후에 유동의 방향이 바뀌는 것으로 생각된다. 따라서 Fig.5 (d)의 95% 충전현상을 보면 좌측으로 캐비티가 먼저 충전이 이루어 지나 우측은 직선방향의 유동에 의해 캐비티보다 오버플로우가 먼저 충전이 이루어지고 캐비티에 충전이 이루어지는 것을 알 수 있다. 따라서 가장 늦게 충전이 이루어지는 Fig.4 (b)의 불완전 충전부분에서 표시한 @부분에서 가장 많은 결함이 발생하였다.

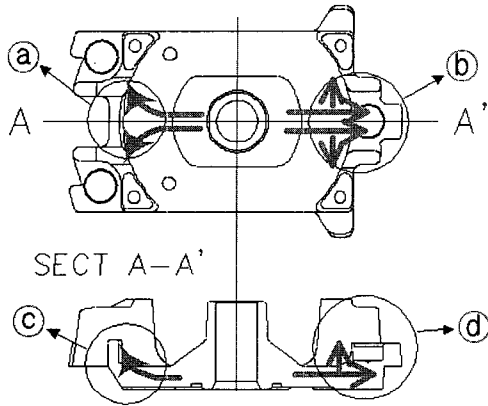


Fig. 6 Flow pattern of Al frame at 95% filling

위와 같은 문제를 해결하기 위해 사출속도를 370mm/s로 증가시켰으나 불량율은 큰 변화를 보이지 않았다. 따라서 재료의 유동과 가압력이 오버플로우 쪽으로 흐르지 않도록 하기 위하여 3개의 오버플로우를 메우고 성형을 실시한 결과 불량율을 크게 감소하였다. 위의 이유는 고속으로 성형을 하면 금형의 구조상 캐비티 내부에 소재가 충전되기 전에 오버플로우 쪽으로 소재가 먼저 유동하는 현상을 억제할 수 있기 때문이다. 따라서 Fig.4(b)의 @부분이 미충전되는 현상을 방지할 수 있었다.

3.1.4 소재에 따른 성형성

Fig.7은 A357의 경우 소재온도 577℃, 금형온도 250℃, 사출속도 370mm/s의 조건에서 성형하였을 때 하중의 변화를 나타낸 것이다. 구간 ①은 펀치를 슬리브를 동시에 예열하기 위해 펀치를 슬리브 속에 장입한 상태에서 예열하는 구간으로 소재의 재가열이 끝날 시점에서소재의 장입을 위해 펀치를 상사점까지 올리는 구간이 ②구간이

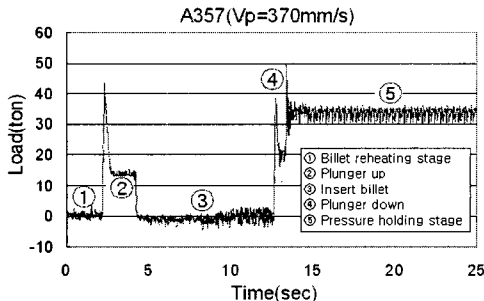


Fig. 7 Load variation as a function of time for forming Al frame with A357

Table 3 Maximum load values with various alloys and semi-solid forging conditions during filling

Material	A357		86S	A390
Velocity(mm/s)	370	120	370	120
Load(ton)	48.8	50.3	43.3	38.1
Die Temp.(℃)	250		200	100
Mat. Temp.(℃)	577		573	563

다. ③구간에서 소재를 장입 후 ④구간에서 성형이 된다. 구간 ⑤는 충전이 완료된 후 20초간 가압 유지하는 구간이다. 각 소재별, 사출속도별로 성형시(구간 ④) 최고하중을 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 보여주는 바와 같이 A357보다는 86S가 변형저항이 작았으며 A390의 성형시 변형저항이 가장 작은 것으로 나타났다. A357의 성형시 낮은 속도에서 큰 변형저항을 나타내었다. 86S는 A357보다 낮은 변형저항을 나타내었으며 충전결함으로 인한 불량제품의 발생률이 A357과 비교해 아주 낮게 나타났다. 또한 플래쉬의 발생과 소착도 현저하게 감소하였다. A390의 성형시 Table 2에 나타낸 것처럼 가장 낮은 변형저항을 보였고 A357, 86S와 달리 다량의 플래쉬가 발생하였다. 플래쉬는 금형을 예열하지 않고 성형을 실시하여도 계속 발생하였으며 금형 분할면에 소착되었다. 따라서 A390의 반응용 성형은 새로운 이형제의 사용에 관한 문제점이 대두되었다.

3.1.5 윤활제

반응용 상태에서 소재의 점도는 용융상태보다 훨씬 크기 때문에 금형표면 및 슬리브 표면과의 마찰에 의한 소착(燒附, 融着)발생의 빈도가 높다. 또한 과도한 윤활제의 사용은 윤활제가 캐비티내로 침투하여 제품의 결함으로 작용할 수 있기 때문에 반응용 성형시 윤활제 및 이형제의 선정과 사용방법은 아주 중요하다. 초기 성형시 소착의 문제를 해결하기 위해 슬리브 및 펀치를 질화 처리하여 표면경도를 높이고 표면을 6-S거칠기로 가공하여 B-N spray를 도포한 후 성형하였으나 소착은 감소하지 않았다.

본 성형실험시 사용한 이형제 및 윤활제는 모두 4종류로 B-N spray (Boron-Nitride spray), 몰로 80배 희석한 SodiumChloride(NaCl:58.45%), Terand사의 열간 단조용 윤활제 Graphite grease, Dow Corning사의 Molykote G

Rapid spray 열간 단조용 윤활제를 각각 사용해 보았다. 슬리브, 캐비티 모두 B-N spray를 사용하였을 때 슬리브 부분에서 윤활 및 이형성을 전혀 발휘하지 못하였다. 분무기를 이용해 희석한 Sodium Chloride를 도포할 때는 금형의 예열로 인해 표면에 부착되지 않고 증발해 버렸다. Graphite grease를 사용했을 때 가장 좋은 윤활 효과를 나타내었으나 무화가 좋지않아 슬리브에만 사용하고 cavity부분은 미세하게 분사가 되는 Molykote G Rapid spray와 B-N spray를 번갈아 얇게 도포하여 성형하였다.

강한 압력과 마찰이 작용하는 게이트, 런너부에는 다이캐스팅용 이형제(B/N spray)보다 고온용 윤활제의 사용이 적합하다고 생각된다⁽⁶⁾.

3.2 성형품의 기계적성질

3.2.1 열처리

소재온도 577℃, 금형온도 250℃, 사출속도 370mm/s의 조건으로 성형한 A357 Al frame과 소재온도 573℃, 금형온도 200℃, 사출속도 370mm/s의 조건으로 제조한 86S Al frame의 기계적 성질을 관찰하기 위하여 Table 4의 조건에서 열처리를 각각 하였다⁽⁵⁾.

86S의 경우는 A357에는 포함되어 있지 않은 Cu성분이 약 3% 함유되어 있어 시효 및 분산강화 효과에 의한 기계적 강도의 증가가 기대되며 A357의 T6열처리와 비교해 86S소재 제품은 용체화 처리를 하지 않고 시효처리만으로도 좋은 기계적 성질을 얻을 수 있어 많은 부품개발이 기대되는 소재이다.

Table 4 Heat treatment condition for A357 & 86S

Mat.	Type	Solutionizing	Cooling	Aging	Cooling
A357	T5	none	Water quenching on stripping	6hour -170℃	Air cooling
	T6	10 hour -540℃	Water quenching	6hour -170℃	Air cooling
86S	T5	none	Water quenching on stripping	10hour -170℃	Air cooling
	T6	6 hour -505℃	Water quenching	10hour -170℃	Air cooling

3.2.2 사출조건에 따른 개발부품의 기계적 성질 비교

Fig.8에 나타난 것과 같이 시험편을 채취하여 인장시험을 하였다. Fig.9의 조건 12의 제품을 Table 4에 표시한 대로 열처리를 하여 다른 제품과 비교하였다.

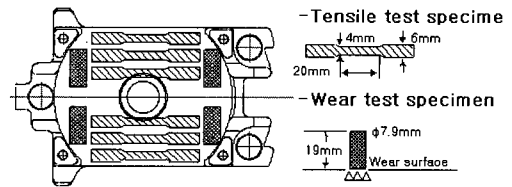


Fig. 8 Specimen for tensile & wear test

Fig.9는 각 사출조건에 따른 Al frame의 인장극한강도와 열처리후의 변화를 비교한 것이다. Table 1의 사출조건 6, 13, 15는 소재온도(Tm) 580℃, 다이온도가 (Td) 각각 250℃, 300℃, 350℃이고 사출조건 7은 소재온도 582℃, 다이온도 250℃이다.

Table 1의 사출조건 12(Tm:577℃, Td:300℃)에서 285MPa의 가장 높은 인장강도를 나타내었으며 T5, T6 열처리의 경우 각각 324MPa, 394MPa의 인장강도로 열처리를 하지 않은 제품과 비교하여 T5의 경우 13%, T6의 경우가 38%의 강도 증가를 나타내었다.

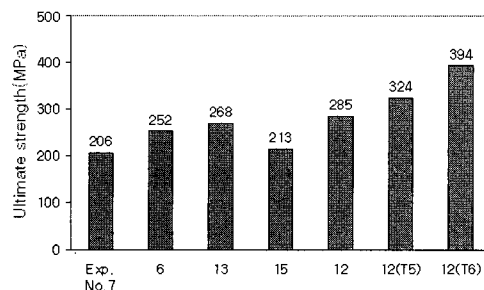


Fig. 9 Ultimate strength with various casting condition and heat treatment(A357)

Fig.10은 소재온도 573℃(86S), 563℃(A390), 다이온도 200℃, 사출속도 370mm/s의 조건으로 성형한 86S 부품과 A390 부품의 인장강도를 각각 나타낸 것이다. 열처리를 하지 않은 86S 제품과 T5, T6열처리를 했을 때는 각각 341MPa, 377MPa, 421MPa의 T5열처리의 경우 10%, T6 열처리 후에는 23%의 강도가 증가됨을 알 수 있었다. 동일한 열처리 조건에서 86S로 성형한 부품의 인장강도가 A357부품 보다 높게 측정되었다. Mg, Cu성분의 분산강화 효과 때문에 86S부품을 T5열처리하면 A357부품의 T6열처리에 근접한 강도를 얻을 수 있어 용체화 처리에 필요한 시간과 경비를 절감할 수 있다⁽⁸⁾.

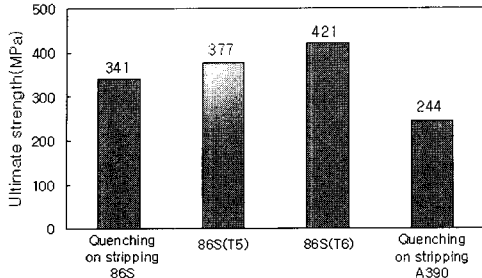


Fig. 10 Ultimate strength of 86S, A390 frame

마모성능을 시험하기 위하여 Fig.8에 나타난 것처럼 시편을 제작하여 마모시험을 실행하였다. Disk의 재료는 SKD61종이며 시편 및 Disk모두 마찰면은 6-S의 거칠기로 제작하여 시험하였다. Disk와 시편을 압착력 100N, 회전수 60rpm으로 30분간 마찰시켜 마모량을 측정하였다.

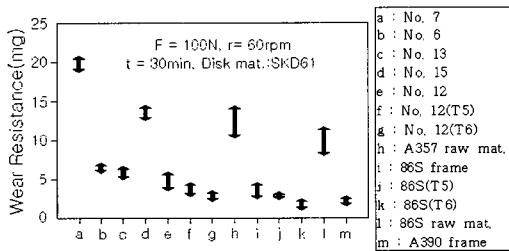


Fig. 11 Wear resistance with various casting condition and heat treatment

Fig.11은 마모시험 결과를 나타낸 것이다. Table 1의 조건 7과 조건 15에 대한 성형품의 마모량은 성형하지 않은 원소재와 비슷하거나 높게 측정되었다. Fig.9에서 보여주는 바와 같이 조건 7과 조건 15에서 제조한 성형품이 가장 낮은 인장강도를 보였으며 마모량도 Fig.11에서 보여주는 바와 같이 가장 많은 양의 값을 보이고 있다. 이상의 실험결과로부터 소재의 온도는 580℃, 다이의 온도는 300℃ 이상으로 가열하지 않는 것이 제품의 성형성 뿐만 아니라 기계적 성질의 확보면에서 적합하다고 사료된다.

성형품 열처리후의 마모량은 86S가 낮은 마모량을 나타내고는 있으나 인장극한강도의 차이와 비교하면 거의 차이가 나지 않는다. 이는 86S의 Mg, Cu성분이 강화효과에 크게 영향을 미치고 있으나 마모량을 좌우하는 Si 성분은 차이가 거의 없기 때문인 것으로 생각된다.

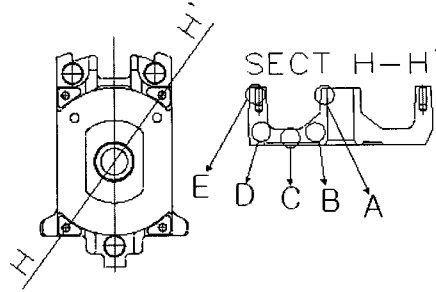


Fig. 12 Points of hardness test

Fig.12는 경도시험의 위치를 나타낸 것이다. Table 1의 조건 7과 조건 12의 A357 부품과 소재온도 573℃, 다이온도200℃, 사출속도 370mm/s에서 성형한 86S 부품의 경도시험을 실시하였다.

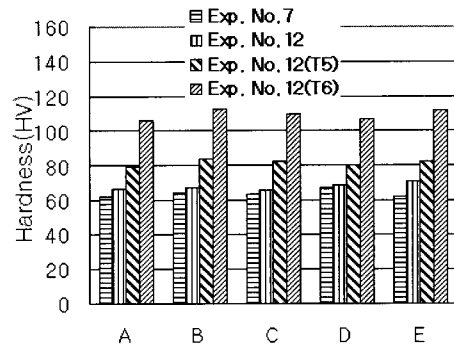


Fig. 13 Hardness of A357 with various casting condition and heat treatment

Fig.13은 경도시험 결과를 나타낸 것이다. 측정위치에 관계없이 비교적 균일한 경도값을 나타내었다. Table 1의 조건 7과 조건 12로 성형한 제품의 경도는 위치별로 65~70 정도로 측정되었다. 위치별 평균값으로 T5열처리 후에는 81, T6는 105의 경도를 나타내었으며 열처리하지 않은 제품과 비교하면 경도값은 각각 15%, 45%정도 증가함을 알 수 있었다.

Fig.14는 86S부품의 열처리전 후의 경도와 A390부품의 경도를 위치별로 나타낸 것이다. 86S의 경우 열처리하지 않은 제품과 T5, T6열처리 후에는 각각 74, 90, 135의 평균경도를 얻을 수 있었다. T5열처리 후에는 20%, T6열처리 후에는 80%의 높은 경도증가를 나타내었다. 동일한 열처리 조건에서 86S 성형품은 A357과 비

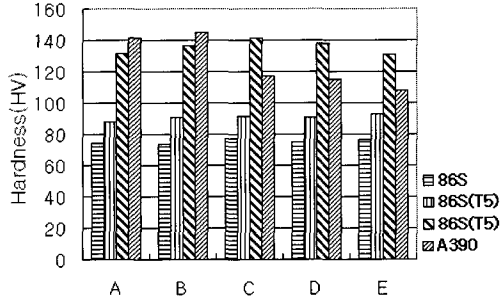


Fig. 14 Hardness of 86S and A390 with various casting condition and heat treatment

교해 10~20정도 높은 경도를 나타내었다. A390부품은 as-cast상태에서 게이트는 주변인 A, B의치에서 145이상의 높은 경도값을 나타내었으나 부품의 끝단부로 가면서 110정도로 낮은 경도를 나타내었다. 위와 같은 현상은 Fig.12에서 보여주는 바와 같이 B, C, D 위치에서는 가압효과가 저하되어 경도값이 개선되지 않은 것으로 사료된다.

4. 결론

기존 주철재 compressor 부품을 경량화 하기 위해 반용융 성형법을 이용한 Al frame 성형 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 반용융 성형시 gate부에서 유동의 방향이 바뀌는 것은 충전불량의 원인이 되며 cavity내에 가압력이 충분히 전달되지 않는 것을 알 수 있었다.

(2) A357의 경우 소재온도 577℃, 다이온도 250℃, 사출속도 370mm/s에서, 86S의 경우는 소재온도 573℃, 다이온도 200℃, 사출속도 370mm/s에서 균일한 고상분포 및 완전충전이 이루어졌다.

(3) 86S 보다는 A357을 성형할 때 소착이 더 발생하였으며 큰 압력과 마찰이 작용하는 부분은 이형제 보다는 고온 윤활제를 사용할 때 소착이 많이 감소하였다.

(4) 86S 성형품의 기계적 성질이 A357 소재 제품보다 우수하였으며 인장극한강도는 19%, 경도는 16%정도 높은 기계적 성질을 나타내었다. A390의 경우는 공정합금 이상의 Si성분의 함유로 인해 높은 내마모성능을 보였으나 높은 취성으로 가장 낮은 강도를 나타내었다.

(5) T5, T6 열처리 후 A357, 86S 모두 기계적 성질이 크게 개선되었고 A357부품의 T6 열처리와 86S부품의 T5 열처리후의 기계적 성질이 유사하게 측정되었다.

(6) 사출속도 120mm/s에서 충전중 응고가 시작되어 응고부와 유동부의 경계가 생겨 불규칙한 고상분포를 나타내었으며 사출속도 20mm/s에서는 공정조직의 유출로 인한 액상편석이 발생하여 부분적으로 액상으로만 이루어진 조직이 관찰되었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)를 통한 한국과학재단(KOSEF)우수연구센터 지원금과 주)LG전선 위탁금에 의한 연구의 일부분입니다.

참 고 문 헌

- (1) R. Moschini., 1992, "Manufacture of Automotive Components by Semi-Liquid Forming Process", Proc. of 2nd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Cambridge MA, April 1992, S. B. Brown, M. C. Flemings, eds., MIT, Cambridge MA, pp.149~158.
- (2) K. P. Young, R. Fitze, 1994, "Semi-Solid Metal Cast Aluminum Automotive Components", Proc. of 3rd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Tokyo, June 1994, M. Kiuchi, eds., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Tokyo Japan, pp.155~189.
- (3) T. Witulski, A. Winkelmann, G. Hirt, 1996, "Thixoforming of Aluminum Components for Lightweight Structures", Proc. of 4th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Sheffield, June 1996, D. H. Kirkwood, P. Kapranos, eds., Univ. of Sheffield, Sheffield, UK, pp.242~247.
- (4) G. Chiarmetta, 1998, "Thixoforming and Weight Reduction", Proc. of 5th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Golden, CO, June 1998, A. K. Bhasin, J. J. Moore, K. P. Young, S. Midson, eds., Colorado School of Mines, Golden, CO, pp.87~95.
- (5) Althix Billets, 1996, Aluminium Pechiney
- (6) H. K. Jung, C. G. Kang, 1999, "A Study on Induction Heating Process of Al-6%Si-3%Cu-0.3%Mg Alloy for Thixoforming", Journal of the

- Korean Foundrymen's Society, Vol. 19, No. 3, pp.25~35.
- (7) H. K. Jung, C. G. Kang, "An Induction Heating Process with Coil Design and Solutions Avoiding Coarsening Phenomena of Al-6 Pct Si-3 Pct Cu-0.3 Pct Mg Alloy for Thixoforming", Metallurgical Transactions A, Vol. 30A, pp.2967~2977.
- (8) G. Hirt, R. Cremer, A. Winkelmann, T. Witulski and M. Zillgen, 1994, "SSM-Forming of Usually Wrought Aluminium Alloy", Proc. of 3rd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Tokyo, June 1994, M. Kiuchi, eds., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Tokyo Japan, pp.107~116.
- (9) T. Idegomi, H. Hirono, O. Ito, S. Kimishima, K. Mizoue, 1998, "The Manufacturing of Automobile Parts Using Semi-Solid Metal Processing", Proc. of 5th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Golden, CO, June 1998, A. K. Bhasin, J. J. Moore, K. P. Young, S. Midson, eds., Colorado School of Mines, Golden, CO, pp.71~77.