

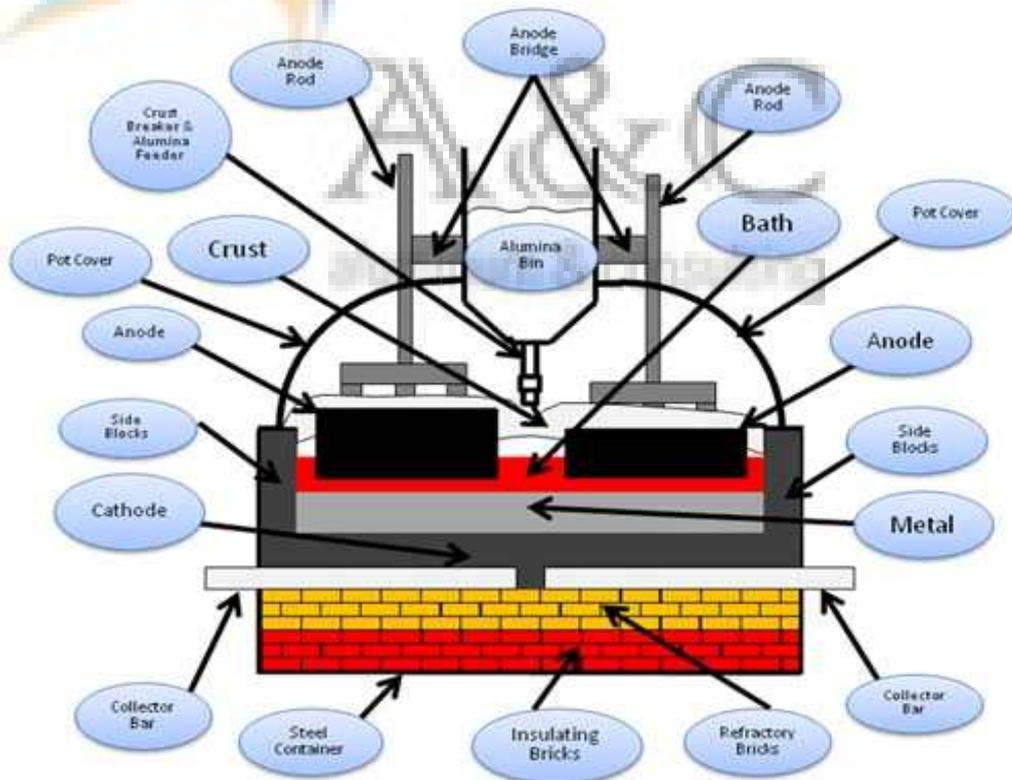
Ⅱ.알루미늄 제조기술



1. 제련, 정련 및 용해 기술

1.1. 제련(製鍊, smelting) 및 정련(精鍊, refining) 기술

현재 세계에서 생산되고 있는 알루미늄의 대부분은 베이어(Bayer)법으로 제조되고 있다. 베이어 법은 1881년 오스트리아의 화학자 Bayer가 고안한 방법으로 알칼리용액을 사용한 습식법이다. 알루미늄 제련(製鍊)은 1886년 미국의 홀 및 프랑스의 에루에 의해 발명된 빙정석(氷晶石, Na_3AlF_6)에 알루미늄을 용해해서 전기 분해 하는 제조법(홀-에루법)이 사용되고 있다. 산화알루미늄(알루미늄)이 전기 분해 되면 음극에는 알루미늄, 양극에는 산소가 생기는데 산소는 양극의 탄소와 반응하여 이산화탄소와 일산화탄소를 발생시킨다. 분해 온도는 약 $970^{\circ}C$ 이다. (알루미늄 1톤을 생산하기 위해 알루미늄 2톤, 보오크사이트 4-6톤이 필요하다)



1.2.용해기술

1.2.1. 용해공정 (연속주조법 : 압출용잉곳,빌릿,billet)



1.2.2. 원자재장입

장입 원료는 ingot, 공장리턴 Return 재 scrap, 각종원소 및 모합금 등으로 이루어지고있다. 이들 원료는 미리 목적의 합금성분이 되도록 배합계산을 하여 노앞에 준비한다.(목적: 원료에 함유되어 있는 수분제거는 용탕폭발 및 수소가스 침입 방지)특히 겨울철이나 여름철에 철저한 관리가 요구된다.일반적으로 billet를 제조할 경우 Ingot 의 배합비율이 약 30%이상으로 하고 나머지는공장 리턴 재,스크랩 등으로 배합하는 경우가 많다.최근 용탕처리 기술의 진보에 따라 스크랩 사용 비율을 대폭적으로 상승되는 경향이 많다. 스크랩 사용 비율을 높이기 위해 서는 이종재질의 혼입과 청정도(수분,기름)관리가 중요하다.장입순서는 압출 Butt,Billet 절단품을 장입한후 Ingot,를 장입하면 바닥면의 완충작용으로 로벽의 손상을 방지할 수 있다. scrap 의 장입시기는 Ingot 가 용융 되었을때 장입하고 특별한 경우에는 Ingot와혼합하여 장입한다.scrap은 크고 무거운 것 부터 작은 것의 순서로 장입한다.합금원소의 첨가는 비교적 저융점인 Mg Zn Pb Sn Bi 등 직접 순금속의 형태로 장입하여도 무방하다. 그러나 알루미늄 보다 비중 이무거운 원소는 모합금 형태로 첨가한다면 편석을 줄일 수 있을것이다.Mg와Zn 은 투입시 산화와 증발이 쉬우므로 최종 탈가스처리 전에 투입한다.Si, Cu, Mn, Cr, Zr, Ti 등의 고용점 금속은 모합금형태로 만들어 첨가한다.

(1)모합금의 사용목적

첨가 원소들은 대다수가 알루미늄보다 융점이 상당히 높다. 따라서 공정 2종이상의 금속성분이 일정한 비율로 혼합되어 생긴 화합물 조성을 만들어서 융점을 낮추어 주면 용해속도가 빨라지고, 균일한 합금조성으로 편석이 생기는 것을 방지할수있다.융점 : Al 659 ,Cu 1,803 ,Si 1,414 ,Mn 1,2244 ,Cr1,903 ,Fe 1,539.



1.2.3. 용 해 (주합금)

용해에 있어서의 기술과제는 용해 효율향상,에너지절약,이익을 향상이며 가능한 한 단 시간내에 용해를 완료하고 목적하는 온도 까지 신속하게 가열하는것이 중요하다. 모든 로의 온도를 필요 이상으로 고온화 하지 말아야 하며 용탕표면이 장시간 불순물을 방치하지 말아야 하는 등이 중요하다.표준적인 알루미늄의 최고온도는 약 750 도 정도이며, 처리중이나 유지중의 용탕온도는700~730 도 정도가 바람직하다.용탕온도가 높고 유지시간이 길어질수록 연소대기 중의 수증기에 의해 용탕표면의 산화가 현저하게 촉진되고 불순물의 증가와 용탕 증으로 수소흡수가 현저하게 늘어나게 된다.용탕 표면의 두꺼운 불순물층 형성은 단열재 작용을 하며 열원에서의 복사열이 용탕으로 열전달 되는것을 막고 용해효율을 악화 시킨다.그래서 660도 고상의 수소용해도 0.036cc/100g는 동일 온도의 액상용해도 0.69cc/100g의 1/19로 격감한다.이용해도의 차가 응고시 과포화수소를 용탕에서 석출해서 수고분자H2기포를 형성하고 응고금속 중에 잡혀 가스구멍의 원인 이된다. 수소량은 약 0.1cc/100g Al 정도까지 감소하지않으면 열을 가했을때 기포형성의 요인이된다.



1.2.4. 용탕 교반

알루미늄은 용융하면 고상상태에 비해 열전도율이 크게 저하되고, 반사로에 있어서 용탕표면에서 깊이 방향으로 열전달이 나빠진다. 열전달을 향상시키고, 상부와 하부의 온도를 균일하게 하며, 용해속도를 향상하기 위해 교반에 의해 용탕을 강제 대류 해야한다. 교반의 방법은 여러 가지가 있으나, 최근에는 전자교반 방법은 사용하고 있다. Ingot, Scrap, 모합금 등의 완전히 용융한 다음에 전자교반 장비를 로바닥 밑으로 정확히 이동시켜 맞춘 다음에 교반하여야 한다. 용탕 전자교반을 할때는 용융이 완전히 되지 않는 상태에서 실시하게 되면 로백손상을 줄우려가있으므로 주의하여야한다.

(1) 교반의시기는 1) 원자재 장입후 완전히 용해된 후, 2) 탈가스제를 투입한 후, 3) 재 분석이 필요시 첨가 원소 장입후 실시한다.

(2) 교반의방법은 사용자에 따라 다소 차이가 있으나 편석을 최대한 줄이기 위한 조건은 1회 가동시간을 약 10 분으로 했을때 조건 전류 140~200 A, 좌 :4분, 용탕진정:2분, 우 :4분 이다. 가장 중요한 것은 형태나 크기 용탕의 유동성을 관찰하면서 조건을 설정하는 것이 가장 좋다. 용탕의 유동성이 떨어지면 많은 시간의 소모와 함께 교반이 효과도 떨어진다. 반대로 용탕의 유동이 심할 경우에는 가스와 산화물의 혼입을 초래할 수도 있다.

(3) 전자교반의 장점

- 1) 생산성 향상 (대형 용해로 적용)
- 2) 합금원소들의 균일한 상태로 유지
- 3) 균일한 용탕 온도관리
- 4) 비중 차이에 의해 생성되는 편석물의 감소

1.2.5. 용탕처리

1.2.5.1. 수소가스 및 이물질(산화물 등)제거

알루미늄 ingot, Scrap 등을 용해한 용탕중에는 다량의 수소산화물 등의 비금속 개재물 외에 Na 등의 알칼리금속이 함유 되어있다. 이들 불순물의 존재는 알루미늄의 제품의 품질에 중대한 악영향을 미치므로 주조전의 용탕단계에서 수소 및 개재물 등을 제거하기 위한 목적으로 한 용탕처리가 불가결하다. 용탕처리의 목적으로는

1) 비금속 개재물 제거 : 산화물:Al₂O₃, MgO, SiO₂, Al₂MgO₄, FeO, Fe₂O₃, 규산염 복합산화물, 탄화물:Al₄C₃, Al₄O₄C, 흑연탄소, 붕화물:Al₃Ti, AlB₂, A 및 AlB₁₂, TiB₂, VB₂(결정립 미세화제로 첨가한 금속간 화합물), 기타:Al₃Ti, Al₃Zr(결정립 미세화제로 첨가한 금속간 화합물), CaSO₄, AlN 할로겐 화합물(염화물, 불화물)

2) 수소가스(H₂ Gas)제거 : 비금속 개재물 및 수소가스 존재시 기계적성질 저하(인장강도, 피로강도 등), 성형가공성저하, 화학적 성질 저하(양극 산화성, 내식성, 응력, 부식, 균열등), 표면결함 발생 [기공 및 가공방향(압출, 압연, 단조 등)]으로 합금 성분에 의한 섬유상조직발생

3) Na제거 : Al-Mg 계 (5000 계열) 합금 :High Hot Cracking Sensitivity, 용탕의 유동성 및 주조성 저해하며 일반적으로 용탕에서 Na 허용치는 5ppm 이하 (0.0005%) 로 관리한다.

1.2.5.2. 수소가스 및 비금속 개재물의 발생원인

(1) 알루미늄 중의 수소

용탕 중으로 수소의 혼입은 주로 용해공정에서 일어나고 장입재료에 부착된 습기, 기름, 연소가스 중의 수증기, 대기중의 습기 내화물의 수분, 교반이나 Dross 제거에 사용하는 공구의 코팅습기, 플러스 중의 습기 등의 수분이 아래식과 같이 반응해서 용탕중에 혼입 $Al + 3H_2O = Al_2O_3 + 6H$ 용탕중에 함유된 수소는 Blister (기포) 의 원인이 된다. 물 1g은 1.244cc의 수소가스를 발생시킨다(8톤 기준:0.00016cc) 장마철 기온이 28도이고 습도가 90%일때 대기중의 수분은 3.4%로서 동절기의 7배이다. 하절기에 Blister 가 많이 발생하는 이유는 바로 여기에 있다.

(2) 용융 알루미늄중의 비금속 개재물

용융 알루미늄중의 개재물에는 전해정련된 Ingot에 함유 되어 있는 것과 용해 및 주조공정에서 혼입이 되는 것이다. 전해정련에서 혼입된 개재물로는 알루미늄탄화물(Al_4C_3), 알루미늄산화물(Al_2O_3), 용탕 표면의 산화피막의 말림 내화물등의 혼입외에 알칼리 금속(Na, K Li) 등이 함유되어 있다. 용해 및 주조 공정에서는 용해원료의 표산화막, 용탕표면에 생성된 산화피막의 말림 (Al_2O_3, MgO, Al_2MgO_4 등) 결정립 미세화제에 함유되어 있는 TiB_2 미 용해된 TiB_3 플럭스처리에서 사용하는 염소나 할로겐 화합물에 의한 반응 생성물 ($MgCl_2$)외의 각종 내화물입자 등이 혼입하고 Billet에 기공이 발생하는 원인이 되며 압출제품의 스트링거(Stringer) 압출방향으로 섬유상조직 발생 알루미늄결함, 기타 제품의 Blister 발생의 원인이 되기도 한다. 또 결정립 미세화제 첨가에 기인하는 Ti-B 화합물도 입자산화물과 같은 결함의 원인이 된다.

1.2.5.3. 용탕의 탈가스처리 방법

- (1) 불활성 Gas (Ar N₂ Freon) 를 용탕에 투입
- (2) Cl₂ Gas를 용탕에 투입
- (3) 용탕내에서 분해되어 H₂ Gas를 제거 할수 있는 고체 화합물 투입(플럭스, flux)
- (4) 진공 또는 불활성 Gas 분위기에서 용해

1.2.5.4. 용탕처리의 원리

용탕처리의 원리를 보면 용융 알루미늄중에 흡입된, Cl₂ N₂ Ar 가스등은 염화알루미늄 등의 기포를 형성하여 용탕위로 부상 하는 동안에 기포내의 수소분압과 용탕중의 수소분압의 차에 의해 기포중에 수소가 확산해 가고 기포와 함께 수소가스로서 부상 탈가스처리는 알루미늄내의 수소가스를 제거하기 위해 필수적이지만, 너무 과도하게 하면 용탕산화 손실량이 많이지고 용탕온도 저하를 초래할수 있다. 용탕의 표면이 심하게 유동이 될 정도로 처리하면 용탕의 산화도 심해지고 효과도 적으므로 표면 이 약간 출렁거릴 정도로 처리한다. 탈가스 작업이 완료된 후에 온도 관리를 철저히 하지 않으면 수소함량이 다시 증가하게됨으로 철저한 온도관리가 요구된다.

aluminum & consulting

1.2.5.5. 비금속 개재물 제거 및 탈가스용 Flux의 종류 및 성분

(단위:%)

구분	Na	N	K	Ca	Cl	C	F	Si	B	기타
알루가스279 Tablet	10~20	10~20	10~20	5~10	10~20	4~8	5~10			15~25
알루가스279S Tablet	15~25	10~20	8~15	8~15	5~10	4~8	8~15			10~20
알루가스202 Tablet					85~90	9~11				0.5~3
심리(#45) Tablet	15~20	25~30	15~20		20~25		5~10		5~7	
알루락스111 Power	28~35				20~26	15~20	8~12			15~25
알루락스113 Power	25~35	4~8			15~25		15~25	5 ↓		15~25
알루락스148 Power	17~23		26~34							45~55
RFF100 Power	25~30		4.5~6. 5		27~32		25~30	3.8~5. 5		10 ↓
RFF103 Power	20~30	10~20	10~20		30~40					10 ↓
AG-217(P) Power	45~50		6~10	40~45					2~3	

(1) Flux의 관리 및 선택의 중요성

- Flux는 합금과 용도에 따라서 다양한 종류를 가지고 있다. 신중한 선택이 요구된다.
- Flux는 흡습성이 높으므로 수분을 함유할 경우 폭발위험 과 가스흡수를 일으킨다.
- 특히 염화물계(ZnCl₂, AlCl₃, MgCl₂ 등) 플럭스가 제품에 혼입하면 점식을 일으켜 문제가 되는 경우가 있다. 일반적으로 플럭스는 알루미늄 용탕보다 가벼워 상부에 뜨나 비중, 점성이 문제가 되는 경우도 있다.
- 중금속의 염화물, 불화물을 함유하는 경우에 중금속은 치환반응으로 용탕중에 합금되어 문제로 대두될수 있다.

1.2.5.6. 용탕 품질평가·측정 방법

(1) 가스함유량 측정

(i) 랜슬레이(Ransley)법

C.E.Ransley 등에 의해 확립된 방법이다. 장치 내부를 고진공상태로 하고, 장치 일부에 삽입되어 있는 시료를 고온 가열해서 가스를 방출시키고, 진공계의 압력변화에서 가스량을 구한다. 시료는 순동제인 랜슬레이 주형에서 채취한 것을 사용한다. 가장 기본이 되는 측정법이지만 숙련을 요하며 분석에 장시간(1시간 이상)이 소요된다는 결점이 있다.

(ii) 가스크로법

헬륨 등의 불활성가스를 캐리어가스화하고 추출로 내에서 랜슬레이 주형에 의해 채취된 시료를 가열해 열전도도 검출기에서 수소량을 측정한다. 랜슬레이식보다 간소화된 것이다.

(iii) 텔레가스법

C.E.Ransley 등에 의해 고안된 것으로 용탕 중의 가스를 직접 측정하는 방법이다. 용탕 중에 삽입된 특수프로브에서 순환펌프를 사용하는 질소가스 기포를 측정용탕 중에 방출시켜 계내를 순환시켜 얻어진 수소포화량을 열전도셀로 측정한다. 용탕의 가스를 직접 측정할 수 있지만 데이터를 얻는 데는 몇 분 정도 소요된다.

(iv) 프로톤 도전성(proton 導電性) 세라믹에 의한 방법

최근에 개발된 방법이며 프로톤 도전성 세라믹이 그 양측의 수소가스 농도의 차에 따라 기동력을 발생하는 현상을 이용해서 가스량을 측정한다. 용탕 중의 수소가스농도를 리얼타임 안에 측정할 수 있으며 응답속도가 매우 빨라 단시간 안에 가스량의 변화를 추적할 수 있다는 특징이 있다.

(v) 이니셜밸브법

감압실에 설치한 도가니에서 용탕을 소량 채취하고 감압한 뒤 최초의 기포가 보이는 시점의 온도와 압력을 파악해 환산식으로 가스량을 구한다. 기포 확인시 숙련을 요한다.

(vi) 감압응고법

소형 도가니에서 용탕을 채취하고 압력1~10KPa 정도의 감압용기 내에서 응고시켜 응고도중에서의 기포방출상황의 평가 혹은 응고시료 절단면의 다공질 수의 평가에 의해 가스량을 반정량적으로 평가한다.

(vii) 서랭법

단열연와 및 기타 서랭용기 중에서 수십g의 시료를 뭉쳐 자유응고면에서의 기포방출 상황을 보고 정기적으로 평가한다. 정도가 나쁘고 가스량이 많을 경우가 그 대상이 된다. 이들 측정법 중 시간적인 제약이 있는 노전 시험으로 현장조업에서 이용할 수 있는 것은 (i),(ii) 이외의 방법이다.

1.2.5.7. 개재물 측정 방법

(i) 파단면 관찰법

판상시료를 헤머 등으로 쪼갠 뒤 그 파편을 육안과 광학현미경으로 개재물 수를 헤아린다. 몰합금 용탕의 노전 검사법으로 많이 이용한다.(예:K몰드법)

(ii) 가압 여과법

필터가 부착된 용기를 가열해서 용탕을 주입하고 불활성가스 등으로 가압해서 용탕을 필터를 통해 배출하고 필터에 걸린 개재물을 현미경관찰로 계측하거나 통과시간을 측정해서 평가한다. 전신재의 용탕평가에 사용되는 경우가 많다.(예:Olin-Flit법, PoDFA법 등).

(iii) 흡인 여과법

필터를 장착한 흡인구를 용탕 중에 침수시키고 가압여과법과 같은 방법으로 측정한다.

(iv) 기타

원심분리에 의한 방법, 초음파를 사용한 방법, 방사화 분석 혹은 브롬메탄올등을 이용한 산소분석에 의한 방법 이외에 많은 방법이 있다.

주물용 합금의 경우에는 K몰드법을 비교적 용이하게 이용할 수 있으므로 그 개요를 서술하겠다. 사용하는 금형은 단축상 평판의 용탕주입식 간이 금형이며 여기서 채취한 시료를 헤머나 렌치 등으로 몇 조각으로 부순 뒤 그 파단면을 관찰해서 개재물을 계측하고 K값(한조각, 2파면 중의 개재물 수)으로 나타낸다.

1.2.5.8. 개량처리 효과의 평가

개량처리 효과는 용탕의 조성분석이 항상 이루어지고 있는 경우에는 분석값으로 그 평가가 가능한 경우도 있지만 실제 대량생산 라인에서는 대상이 되는 노가 많아 용탕보급 회수 등도 많아지므로 노별로 조성분석이 행해지는 예는 적다. 그러한 Na에 의한 개량효과는 특히 수율이 불안정하며 또 시간변화도 크다. Sr도 Na만큼은 아니지만 감도가 크다.

이와 같이 분석에서는 대부분 개량효과를 판정하기가 어렵고 노전 시험으로 열분석을 하는 것이 효과적이다. Na 혹은 Sr에 의한 개량처리에서는 개량처리에 의한 공정의 온도저하가 크다. 그래서 개량처리성분의 함유량과 공정온도의 저하에서 개량효과를 판정할 수 있어 실용화되고 있다. 일반적으로는 열전대장착 금형에 수십g의 용탕을 샘플링하고 수분 이내에 결과를 얻을 수 있다. 이 외에는 제품의 일부를 연마해서 조직 관찰하는 방법이나 일정한 주형에 용탕주입한 샘플을 굽혀 판단시 굽힘 각도에서 개량효과를 평가하는 방법도 있다.

1.2.6. Dross제거

용탕처리하고 나면 용탕표면에 부유된 비금속 개재물 등의 불순물을 제거한다.Dross 가운데에는 다량의 금속 성분(60~80%)이 함유되어 있으므로 회수처리 장치를 통하여 회수율을 높이는데 노력하여야한다.

1.2.7. 용탕진정

용탕처리 등을 통하여 혼란했던 용탕을 안정 시키기 위해서는 필요하다. 또한 진정시간 동안에 용탕내에 잔존한 비금속 개재물의 비중 차이에 의해서 분리되는 것을 돕는다.용탕진정온도는 주조시에 필요한 적정온도(70 + -10도)를 유지시킨다.용탕온도가 높으면 대기중의 수소가스를 다량 흡수해서 기포가 발생할 뿐만 아니라 사용되는 기구의 철분을 흡수 하므로 세심한 주의가 요구된다. 또한 온도가 낮으면 주조작업이 곤란해진다.진정시간은 용해설비 및 작업방법에 따라서 다소 차이는 있으나 20~40분 정도가 일반적이며 주조작업시 Center crack이 발생하기 쉬운 합금에 대해서는 진정시간을 60분 정도로 유지시켜준다.용탕진정시간이 길수록 개재물 제거에는 효과적이나 교반의 효과가 떨어지고 온도관리도 어렵다. 어렵다. 그러므로 품질과 생산성을 고려한 적정한 조건을 설정하는 것이 중요하다.

1.2.8. 결정립 미세화처리

Billet조직의 미세화는 Billet 전체를 균일하게 하고 주조균열을 방지하며 그후 가공성 및 압연, 압출재의 알루미늄 처리시표면 품질의 개량 등을 위해 매우 중요하다. 결정립 미세화제로 Al-Ti-B모합금의 용탕중에 첨가된다. 시판되는 모합금에는 와플형과 로드형이 있으며 Waffle형모합금은 유지로에 투입해서 사용하고 Rod형모합금은 Rod Feeder를 사용하여 주조직전에 탕도 등에 연속적으로 장입된다. 종전에는 Waffle형을 사용하여 로내에 투입함으로써 TiB₂에 의한 로의 오염 및 산화에의해서 미세화 효율이 떨어졌으나, 최근에는 Rod형을 탕도에서 투입함으로써 이러한 문제점들을 개선할 수 있다. 미세화의 효과는 첨가량, 용탕온도, 유지시간 영향을 받기 쉽다. 일반적으로 Al -5% Ti-1% 모합금을 많이 사용하며 첨가온도는 720~750도 정도인 경우가 많다. Al-Ti-B모합금의 첨가에 따른 문제점은 조대한 TiB₂나 그 집단에 의해 알루미늄처리에서 있어서 표면결함의 원인이 된다.

1.2.8.1. 공정 Si개량 처리

주조합금의 대부분은 Al-Si계를 기본으로 한 합금이며 이들 합금에 있어서는 공정Si의 형상은 재료특성에 대해 매우 중요한 의미를 가진다. 기계적 성질에 대한 영향은 가장 중요한 것 중 하나이다. 공정Si가 개량되지 않고 조대하면 연신율이나 충격치가 낮다. 주조성에 대한 영향도 크고 수축캐비티나 유동성이 개량처리에 의해 변화한다. 공정규소는 특히 개량처리가 실시되지 않는 경우에는 침상(3차원적으로는 평판상의 결정)으로 발달한 형상이지만 개량처리를 함에 따라 미세한 입상이 되고 기계적 성질, 특히 연신율이나 충격치가 향상한다.

공정규소의 개량에는 Na, Sr, Sb 등의 원소가 이용되고 있다. Na의 첨가가 가장 일반적이지만 Na의 개량은 지속시간이 짧고, 경시변화가 크며, 첨가수율이 낮아 불안정하고, 도가니의 수명이 짧다는 등과 같은 문제점이 많아 그 대체법에 관한 연구의 움직임이 크게 일어나고 있으며 최근에는 Sr첨가에 의한 방법도 제법 보급되고 있다.

Na에 의한 개량처리는 금속Na 혹은 NaF, NaCl을 함유하는 플렉스를 포스포라이저등을 이용해 용탕속으로 삽입해 교반함으로써 행해진다. Na의 첨가수율은 일반적으로 상당히 낮고 1할 정도인 경우가 대부분이다. Na에 의한 개량효과는 합금종이나 응고속도에 의해 달라지고 특히 후자의 영향이 크다. 일반적으로 Si량이 많아 냉각속도가 지연될 경우에는 Na첨가량을 많게 한다. 서랭인 사형주물에서 효과적인 Na량(잔류량)은 50~150ppm이다. 금형주물에서는 30~100ppm으로 사용되는 경우가 대부분이다. Na는 화학적으로 활성이기 때문에 산화소모하고 시간의 경과와 함께 개량효과가 급속하게 떨어진다. 일반적으로는 단위중량당 표면적이 클 경우 용탕온도가 높을 경우 산화소모가 심하다. Na의 과잉첨가는 조직의 악화를 야기해 바람직하지 못하므로 첨가 직후의 Na량은 100ppm정도를 상한으로 한다. 때문에 산화소모를 고려할 때 충분한 개량효과를 기대할 수 있는 시간은 통상 한 시간으로 비교적 단시간이다. 이와 같은 Na의 산화소모에 의한 변동을 적게 하고 개량효과를 지속시킬 목적으로 개발된 용탕표면에 부상시켜 사용하는 판형 플렉스도 이용되고 있다. Na의 첨가는 위와 같이 기계적인 성질개선 이외에도 수축캐비티 분산에 의한 내압성의 향상에도 효과가 있으며 내압성을 중요시하는 주물의 주조에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있다.

Sr에 의한 개량은 Na개량이 가지고 있는 몇몇 문제점을 완화할 수 있어 최근 많이 이용되고 있다. Na보다 산화소모가 적고 개량지속시간이 길며 Na를 사용하는 경우보다 도가니 수명을 연장시킬 수 있으며 취급이 Na의 경우보다 안전하고 간편하다는 등 다수의 장점을 가지고 있다는 것이 그 배경이 된다. Sr이 적은 경우에는 충분한 개량효과를 얻을 수 없으며 너무 많을 경우에는 Sr을 함유한 화합물의 정출에 의해 기계적 성질이 저하된다. 일반적으로 첨가물은 50~150ppm정도가 바람직하다. Sr의 첨가는 용탕속으로 Al-Si모합금을 투입하는 것과 간소한 교반으로 이루어지며 70~90%전후의 양호한 수율을 얻을 수 있다. 지속시간은 Na만큼 짧지는 않지만 용탕면의 교란이 많으며 빨리 소모한다. 또 Sr첨가의 경우에는 Na첨가에 의한 것으로 보이는 수축캐비티 분산효과는 적다.

Sr에 의한 개량처리는 구미에서는 10년 전부터 많이 보급되어 왔지만 일본에서의 보급은 지연되어 왔다. 이것은 비교적 습도가 높아 Sr에서 개량된 용탕이 가스흡수를 일으키기 쉽고 다공성도 잘 형성되어서 Sr 채용을 단행하기가 힘들었기 때문이라고 생각된다. 지금은 회전날개식의 효율적인 탈가스장치가 개발되어 그 대응이 용이하게 되었다. Sb에 의한 개량처리도 이용되고 있지만 이러한 경우는 가스흡수에 있어서 특히 문제가 없어 일반 첨가원소처럼 용탕에 모합금을 첨가한다.

1.2.8.2. 초정 Si 미세화처리

과공정Al-Si계 합금에서 초정Si입도는 기계적성질, 주조성, 내마모성, 절삭성 등 많은 특성에 영향을 미치며 그 **조대화**는 대체로 여러 특성을 저하시킨다. 이러한 이유로 과공정Al-Si계 합금에서는 초정 Si의 미세화처리가 행해진다. 초정Si미세화에서는 P를 첨가하는 것이 일반적이다. P의 첨가방법으로는 Cu-7%P 등의 P를 함유한 모합금 혹은 기타 P를 함유한 금속첨가재를 사용하는 방법이나 적인이나 P를 함유하는 화합물을 주성분으로한 플럭스를 사용하는 방법이 있다. 그러나 최근에는 환경문제의 관점에서 전자쪽이 일반적으로 사용되고 있다. P양과 초정Si의 관계는 50~100ppm정도에서 안정적이므로 P첨가량은 통상 50~100ppm정도로하는 것이 대부분의 경우이다. 단 통상적인 실용합금의 경우 지금중에 P가 첨가되어 있으며 사용자측에서의 P의 재첨가는 불필요한 경우가 많다. P의 미세화효과의 지속성은 비교적 양호하며 보통 수시간 이상 그 효과가 지속된다.

1.2.9. Dross 제거

용탕처리하고 나면 용탕표면에 부유된 비금속 개재물 등의 불순물을 제거한다. Dross 가운데에는 다량의 금속 성분(60~80%)이 함유되어 있으므로 회수처리 장치를 통하여 회수율을 높이는데 노력하여야한다

1.2.10. 용탕여과(비금속 개재물 제거)

Filter의 size는 여러가지가 있으나 12x12x12x(20,30,40ppi)를 일반적으로 많이 사용하고 있으나 용탕의 처리량에 따라서 size는 결정되어야한다. Ceramic Form Filter를 30~50분 정도의 충분한 예열을 시켜야 용탕이 잘 통과할수있다. 용탕이 Filter를 잘 통과하기 위해서는 용탕온도를 최소한 700도 이상으로 관리, 유지시켜야하며 일정한 용탕량이 흐를수 있도록 주의해야된다. 최근에는 요구하는 품질 수준의 향상에 따라서 2중 Filter의 사용이 증가 추세에 있다.

1.2.11. 출 탕

용탕의 과도한 흐름으로 인한 산화 피막의 파괴 및 말림에 주의하여야한다. 산화피막의 파괴는 용탕의 산화를 증가 시키고 수소가스의 흡수를 증가시킨다. 표면의 산화막은 내부용탕을 보호하는 역할을 하며 온도 손실도 줄여줌으로 용탕이 잘 흐를수 있도록 탕도 및 분배기 배치가 매우 중요하다.

2. 일반주조

2.1. 주형에 의한 분류 및 특성비교

특 성		사형주조						금형주조 (반복사용)						정밀주조 (반복사용, 특수주형)			
		생사형(벤 토나이트)	탄산가스 (인산소다)	자경 주형	V공법(무 점결제)	셀주형(페 놀수지)	콜드 박스	플몰드	중력	저압	차압	고압(용 탕단조)	다이캐 스팅	스퀴즈 캐스팅	로스트왁스 (세라믹)	석조주형 (석고)	세라믹주형 (세라믹)
치 수 형 상	치수정밀도	E	E	D	C	D			C	B		A	A		A		
	외관표면평활	D	E	D	C	C			B	B		A	A		A		
	주형이동성	E	D	D	C	D			C	B		A	A		A		
	주물설계자유성	A	A	A	E	B			C	D		E	E		A		
	주물크기제약	A	A	A	A	C			B	D		E	E		E		
	취출제약	E	E	E	E	D			C	B		D	A		C		
	박육여부	D	D	D	D	B			E	C		B	A		A		
	빠기구배제약	A	A	D	D	B			E	C		B	A		A		
재 료 품 질	합금선택범위	A	A	A	B	B			C	D		D	D		C		
	주물강도	E	C	C	C	C			A	A		A	B		D		
	내압성	D	B	C	D	C			A	A		A	D		C		
	열처리성	C	B	B	C	C			A	A		A	E		C		
	재료수율	E	D	D	D	C			E	A		B	B		D		
경 제 성	금형,설비비	A	A	B	C	B			C	C		E	D		C		
	운전비	A	A	A	B	A			B	C		E	E		D		
	사이클시간	E	D	D	D	D			B	C		C	A		E		
	후가공수	E	E	D	D	D			C	B		B	A		C		
	양산성	E	E	D	D	D			C	C		B	A		D		
	관리용이도	E	D	D	D	V			C	B		B	B		C		
	조업숙련도	A	A	B	B	B			C	D		E	E		A		

2.2. 사형주조(sand casting)

사형은 가장 오래 전부터 행해져 온 주조법이다. 일반적으로는 시작품(詩作品)이나 다중소량생산에 사용되고 있지만 주조주물에 사용되고 있는 것 같은 고압주조법에 의한 기계장치로 대량생산도 일부에서 행해지고 있다. 또 사형주조라고 해도 그 방법용 점결재(粘結材) 종류나 공정에 따라 다양하게 걸쳐져 있다.

2.2.1. 사형주조모형

모형용 재료에는 목재, 금속, 합금수지 등이 있다. 그 재료의 선정은 주형의 조형 방법에 따라 다르며 대량생산에서 치수의 정확도가 높고 또 셸몰드(shell molding)법과 같이 모래를 넣어붙임(sand burnig)하는 경우에는 모든 금속의 모형(금형)을 사용한다. 그러나 일반적으로 금형에 비해 재료비가 싸고 제작일수가 짧으며 가벼워 취급상 편리하다는 등의 이유에서 목형(木型)이 주로 사용된다.

2.2.1.1. 목재

목재의 종류에는 일본노송나무, 미국노송나무, 받침노송나무, 일본삼나무, 미국삼나무, 작은삼나무, 마호가니, 티크 등이 있으며 주조수에 따라 모형의 내구도(耐久度), 모형비용 등으로 그 종류를 결정한다. 그러나 목재는 그 속에 포함되어 있는 결합수의 이동에 의해 수축변형이 발생하므로 건조가 나쁘다는 것 즉 함수율이 높다는 것 때문에 제품이 되어도 변형이 크고 치수 정확도도 그다지 좋지 못해 사용상 문제가 따른다. 건기상태로 건기된 목재를 사용해야 한다. 비틀림이 적은 모형을 제작하기 위해서는 목재의 함수율 범위내에서 택하는 것이 필요하다.

2.2.1.2. 금속

금속제 모형, 즉 금형은 주로 대량생산의 경우에 사용된다. 그 이점으로서 ①목형과 같은 취틀림은 발생하지 않는다. ②마모가 적어 장기보존이 가능하다. ③치수 정도가 높다 등이다. 반면 결점은 ①제작비가 비싸고 ②제작에 장기간을 요한다 ③무거워 취급상 어려움이 따른다 등이다. 금형은 사용목적에 따라 재질을 선정할 필요가 있으나 어느것이라도 기계가공을 하지 않으면 안되므로 가공성이 좋은 주철, 동합금(銅合金), 알루미늄합금이 많이 사용되고 있다.

(1) 주철

주철은 금형으로 가장 많이 사용되고 있는 재질이다. FC20~30의 회주철이 일반적으로 사용되며 특히 강인성이 부여된 덕타일(ductile)주철 등도 사용된다. 주철재질금형의 대표적인 것은 몰딩기에서 사용되는 패턴·플레이트 및 셸몰드용 금형을 들 수 있다. 밀폐된 금형 속으로 수기압의 압력에서 모래를 분출해서 충전시키는 흡입방식인 금형은 국부적으로 마모가 생기는 부분에 필요에 따라 경질의 금속을 끼워 넣어서 교환할 수 있도록 하거나 크롬 도금같은 표면처리를 해서 사용할 수도 있다.

(2) 동합금

금형소재로 사용되는 동합금은 주조성, 가공성이 우수하여 특히 대기 중에서 부식이 적어 금형 다듬질면을 깨끗하게 유지하므로 조형하기 쉽고 금형의 장기보존에 적합하다.

동은 열전도가 좋기 때문에 셸금형의 돌출된 얇은 형상부의 열전도를 용이하게 하므로 동합금이 사용되고 있다. 재질은 일반적으로 황동, 청동이 사용되지만 고가이므로 주철보다 많이 사용하지 않고 있다.

(3) 알루미늄합금

알루미늄합금은 주철, 동합금에 비해 비중이 작기 때문에 조형작업자가 손으로 취급하는 업 플레이트의 재질로 적합하다. 일반적으로 라우탈에 상당하는 알루미늄합금 주물2종이 사용된다. 주물의 정밀화에 따른 모형정도를 올릴 목적으로 알루미늄합금의 사용이 증가하고 있다.

2.2.1.3. 합성수지

수지모형의 장점은 ①목형에 있어서 수축, 변형 등의 비틀림발생이 없고 ②금형에 비해 제작비가 싸고 ③금형에 비해 제작기간이 단축되며 ④금형에 비해 경량이라 그 취급 또한 용이하며 ⑤장기사용이 가능하다는 것이다. 그러나 사용상 고려해야 할 점은 ①내마모성은 목형과 금형의 중간정도이며 ②금형과 같은 기계가공없이 원형을 그대로 복사하므로 치수에 한계가 있다. 따라서 주물의 치수공차를 고려해서 수지형을 선정하는 것이 좋다. 일반적으로 에폭시수지가 사용되지만 발포 폴리스틸렌수지는 풀몰드(full mold)용 소실모형재료로 사용된다.

2.2.2. 주조 방안

주조할 경우 어떤 방법으로 제조할 것인가를 선정하고 그 주조방법에 적합한 탕구, 게이트, 압탕을 결정해야 한다.

주조의 기본은 「고요하고 신속하게」이며 알루미늄합금은 산화되기 쉽기 때문에 특히 이것을 염두에 두어야 하며 다음 사항을 만족시켜야 한다.

- ① 모래 부스러기나 공기유입이 발생하지 않도록 용탕을 고요하고 신속하게 충전할 수 있을 것.
- ② 용탕 내 및 용탕 중에 발생하는 산화물이나 기타 개재물이 제품 속으로 들어가지 않도록 제거할 수 있을 것.
- ③ 주물이 압탕을 향해 지향성 응고가 될 수 있게끔 주형의 열조건일 것.

알루미늄합금 주물의 용탕주입법에서는 이상에서 누락된 방식은 그다지 도입되지 않는다. 대부분은 주물의 최하부에서 용탕이 고요히 주입되도록 연구되고 있다. 특히 산화물은 용탕보다도 주입과정에서 발생하기 때문에 용탕을 어떻게 잘 주입할 것인가가 중요한 과제이다.

이러한 이유 때문에 탕도에 스크린을 사용하는 것이 권장되고 있으며 일반적으로 사형 주조에서는 (B)가 많이 사용되고 있다. 그러나 아무리 스크린을 사용한다 하더라도 탕도와 게이트를 흐르는 용탕이 너무 빠르면 난류를 일으켜 산화물 발생이나 제품 내로의 유입이 문제가 될 수도 있다.

그러한 이유로 탕구비는 기본적으로 1:2:2, 1:4:4,와 같이 비압입계를 채용하고 있다.

알루미늄합금 주물에는 일반적으로 세로주입과 가로주입이 많다. 가로주입에는 제품의 형상에 따라 단계이트, 수직게이트등도 사용되고 있다.

세로주입은 용탕의 하부에서 유도되므로 조용하게 충전되어 탕의 혼란이 적어 괜찮지만 높이가 있는 주물을 용탕주입할 경우 저면의 게이트부분에 다량의 용탕이 흐르기 때문에 과열되고 또 밀어올린 용탕은 상면에서는 온도가 하강해서 입탕효과를 상실한다. 때문에 2단계이트 또는 수직게이트를 사용하는 것이 일반적이다.

대형 주물에서는 상하2단의 탕도가 있는데 먼저 아래탕도에서 용탕을 주입해 어느 단계까지 용탕이 차면 위의 탕도에서 용탕을 공급하는 방법을 취하고 있다.

2.2.3. 주물사에 요구되는 특성

2.2.3.1. 성형성

주형을 만들 경우에는 주물사를 모형상에 붙여 굳히거나 혹은 압력을 가해 모형의 형상을 그대로 주형에 이동시키기 때문에 주물사는 충분한 성형성을 가지고 있어야 한다. 이 성형은 모래입도, 점결제, 수분 등에 의해 결정된다. 모래의 입도분포는 피크가 JIS표준mesh로 3매쉬에 분포하는 것이 좋다고 하지만 최근에는 단일 피크가 바람직하다고 하고 있다. 이것은 충전밀도가 높고 통기성이 좋은 주형제작에 적합하기 때문이다. 특히 최근의 주물은 높은 치수정도가 요구되어 주물사를 균일하게 충전하는 것이 중요하다.

2.2.3.2. 통기성

용탕이 주형에 주입되면 주형 내의 수분, 점결제 등에서 가스가 발생하므로 주형의 통기성이 나쁘면 weld mark나 탕주름의 결함이 생기는 원인이 된다. 특히 알루미늄합금 주물은 주물표면에 대한 요구도가 높아 그 결과 미세한 모래를 사용하므로 통기성 확보가 더 큰 문제가 된다. 따라서 수분이나 점결제의 양을 최소로 하는 것은 물론 점결제의 양이 적은 상태가 되도록 둥근 입형의 모래를 선택해야 한다.

2.2.3.3. 내열성

용탕이 주입되면 주형은 급격하게 과열되어 열팽창을 일으킨다. 이 열팽창이 원인이 되어 주형표면에 균열이 발생할 수 있다. 내열성은 주로 모래 중의 규산(SiO_2)분에 의해 좌우되며 규산분이 많을수록 높아지지만 열팽창은 커진다. 이는 573°C 에서 규사가 α 석영에서 β 석영으로 변화할 때 생기는 것이다. 규사는 올리빈사이나 지르콘사보다 열팽창이 커 모래의 종류에 따라 주물의 치수정도는 영향을 받는다.

2.2.4. 생사형주조 (Green sand casting)

생형은 가장 오래된 방법이며 일반적인 금형에서 규사 등의 골재와 점토의 혼합물에 물을 더해 가소성을 부여한 후 굳히거나 압력을 가해 성형한 주형이다. 알루미늄합금 주물의 경우 용탕주입 온도가 약 700°C전후여서, 내화도에 영향이 있는 원료사의 순도는 그다지 문제가 되지 않는다. 주물사는 종래 점토를 포함한 산사에 물을 넣어 혼합 반죽해서 사용되어 왔지만 지금은 규사에 벤토나이트 등의 점토계 점결재나 부차적 첨가물 전분, 콘스타치 등을 물과 섞어서 사용하는 합성사가 일반적으로 되어 치수정도가 좋은 주물을 만들 수 있게 되었다. 생형사는 재생사용을 주로 해서 여기에 신사, 점결재와 첨가재를 넣어 반복사용한다. 이러한 이유로 재생사는 수분, 온도 등을 관리해야 한다.

거푸집제작의 주형은 거푸집에 모형을 세트해서 주물사를 넣고 충전한 후 모형을 빼내고 완성하는데 거푸집이 없는 경우는 모형을 뺀 후 거푸집을 떼어낸다.

이러한 공정 가운데 충전이 가장 중요한 공정이며 생형조형 기술은 이러한 개량의 역사라 할 수 있다. 즉 초기 핸드몰딩(수동주조)시대에는 굳히기만 사용되어 왔지만 그것이 기계화되어 쥘트(jolt)법, 스퀴즈(squeeze)법 혹은 두가지를 조합한 쥘트스퀴즈법이 사용되었고 최근에는 블로스퀴즈(blow squeeze)법, 유기가압법, 충격파법이 이용되고 있다.

생사형의 장점

- ① 소형부터 대형까지 주조가 가능하다.
- ② 형분해가 용이하며 주물의 취출이 간단하다.
- ③ 주물사는 반복사용이 가능해 재생처리가 간단하다.
- ④ 용탕주입시 악취, 유해가스 등이 발생하지 않는다.
- ⑤ 주형재료비가 싸고 폐사량은 10%정도로 적어 경제적인 조형법이다.
- ⑥ 주형은 기계적 진동 등에 의해 쉽게 붕괴시킬 수 있다.
- ⑦ 공해대책 마련이 비교적 용이하다.

2.2.5. 탄산가스형주조(CO₂ process)

규산소다를 규사에 3~6% 첨가한 모래로 조형해서 이것에 탄산가스를 흡입하면 규산소다가 탄산소다와 규산으로 분해되어 경화한다. 점결제로서의 물유리는 물비가 2.4~2.7인 것이 사용되고 통상 가성소다, 유기질 첨가제가 배합된 것이 시판되고 있다. 이 방법은 생형사보다 첨가수분량이 매우 적고 모형에 주입한 채 경화시키므로 주형취급이 용이하다는 등의 장점이 있지만 모형의 탈형이 어렵고 주형에 흡습성이 있어 습한 공기 중에서는 강도가 저하한다. 알루미늄합금에 대해서는 주형의 가축성이 적고 붕괴성이 나쁘기 때문에 목분이나 산화마그네슘 등의 붕괴조제를 첨가해 개선하는 연구도 행해지고 있다. 모래의 재생이 어려워 폐기시 알칼리성 용액이 침출하므로 공해발생의 원인이 되는 등의 단점이 있다. 물비가 높을수록 경화하기 쉽고 약간의 통기량으로 강도가 증가한다. 경화속도는 모래온도의 영향이 크고 모래온도가 저하하는 겨울철에는 잘 굳지 않기 때문에 고물비 규산소다로 바뀌어야 한다. 규산소다를 점결제로 한 주형을 방치하면 겔화가 진행된다. CO₂가스 절약, 주형표면의 가스통기량은 형빠기에 충분할만큼 눌러두고 주조시 필요한 강도는 방치에 의한 탈수경화로 하는 것이 바람직하다.

2.2.6. 자경성주형(self-curing mold , 自硬性鑄型)

규사에 유기점결제와 경화제를 섞은 모래로 조형하면 시간의 경과와 함께 화학반응에 의해 경화한다. 이 모래는 유동성이 좋아 굳히기가 필요 없어 조형공정을 단축할 수 있다. 또 회수한 모래를 해립하고 샌드 리클레이머 등으로 연마하면 90%이상을 재생사용이 가능하게 되어 폐사를 버리는 문제를 해결할 수 있다. 또 주철·주강주물에 사용하는 수지를 알루미늄합금 주물에 적용하면 열용량이 적기 때문에 주물사로의 가열이 적어 주형의 붕괴성이 나빠지는 경우가 있는데 최근에는 경합금용수지도 개발되어 그 성과를 거두고 있다. 그러나 모래의 가열이 적기 때문에 이미 반응한 수지가 모래입자 표면에 잔류하기 쉽고 작열감량이 주철의 경우보다 커지기 쉬우므로 모래의 재생방법은 잘 연구해야 한다. 작열감량이 증가하기 때문에 가스결함이 많아질 경우에는 모래비용이 많이 들더라도 배로 열을 가하는 방법이 바람직하다. 유기점결제는 페놀계와 플랜계이며 경화제는 플랜에서는 산성을 사용하지만 페놀에는 산성과 염기성 두 종류가 있다. 염기성 경화제에서는 페놀과 폴리소시아네이트수지를 1:1의 비율로 각각 약 0.6~1.0%모래에 첨가하고 경화촉진제를 수지에 대해 약 1~4% 첨가한다. 산성경화제는 플랜 및 페놀수지를 모래에 약 0.6~1.0%첨가하고 경화제를 수지량의 40~60%정도 첨가한다. 산성경화제는 경화속도 조절에 수분을 첨가한 것이 있으므로 알루미늄합금에서는 주형을 건조해야 하는 경우도 있다. 또 CO₂가스모래보다도 보온성이 좋기 때문에 CO₂가스형 모래를 유기모래로 바꿀 경우에는 제품에 따라 주조조건이나 용탕 탈가스처리를 재검토해야 한다. 유기모래에 사용하는 모래는 미분이 증가하면 수지의 첨가량을 증가시키지 않으면 주형강도가 저하하므로 양질의 규사를 반복사용하는 방법이 경제적이다.

2.2.7. V 프로세스(vacuum sealed process)

일본에서 개발된 획기적인 주조법으로 점차 그 효과가 인식되면서 구미에서도 주목받게 되었다. 이 방법은 다음과 같다. 0.05~0.3Mmm정도의 에틸렌과 초산비닐과의 공중합체(EVA)등의 플라스틱필름을 가열해서 연화시켜 배기구가 설치된 목형 등의 모형에 씌운다. 모형과 필름사이를 배기구를 통해서 진공펌프로 배기하면 필름은 모형위에 밀착하게 된다. 모형이 필름으로 깔끔하게 코팅되면 배기를 그만해도 좋다. 또는 배기구를 만든 형틀을 열어 점결제를 첨가하지 않은 건조한 모래를 넣는다. 모래의 표면층을 평평하게 하고 플라스틱 필름을 형틀의 배출구에 끼우고 진공펌프로 모래층을 감압한다. 탕구나 압탕은 모형 위의 필름과 모래를 덮은 필름이 겹치므로 파괴시켜 필름이 윤활제의 역할을 해서 금형이탈이 용이하다.

이렇게 조형한 상하형을 씌워서 주탕한다. 응고가 완료할 때까지 흡인을 계속하고 응고가 완료하면 감압을 그만두고 대기에 개방하면 모래는 형태를 유지하지 않고 낙하해 생주조물이 완료된다. 이 방법에서는 모래의 95%정도는 회수할 수 있으며 또 모래처리를 하지 않고도 냉각하면 반복사용할 수 있으면 파쇄재생 등의 처리나 폐사처리에 대한 문제가 해결된다. 이 방법은 두께가 얇고 비교적 넓은 표면적을 가지는 제품의 주조에 효과적이다. 또 건조한 모래를 사용하기 때문에 가스에 의한 주조결함은 거의 없다. 그러나 고품질의 알루미늄주물에서 다수의 압탕을 두어야 할 경우에는 압탕을 싸는 플라스틱 필름의 성형이 어려워 번거롭다. 상형에 씌우는 필름도 미리 압탕을 둔 정반모형상에서 흡인성형한 필름으로 주형상면을 덮으면 앞탕의 형높이는 낮게 할 수 있지만 좁은 범위에 많은 압탕을 두는 것은 어렵다. 이와 같이 형상에 제한이 따르는 것은 어쩔 수 없지만 커튼월같이 두께가 얇고 넓은 면적의 주물에는 최적이다.

2.2.8. 셸몰드법(shell molding process)

셸형 주물은 사형주물에 비해 주물표면이 양호하고 또 통기성도 좋기 때문에 얇은 주물에 적합하다. 그러나 사형주물과 비교하면 점결제가 비싸기 때문에 셸형 주물의 원가가 높아진다. 때문에 가능한 한 거친 모래를 선택해 필요이상으로 점결제를 사용하지 않도록 하는 것이 중요하다.

2.2.8.1. 셸형용 재료

셸형에 사용하는 모래는 AFS 60~160범위의 것으로 셸형의 강도를 저하시키는 점토·수분 및 기타 불순물을 함유하지 않아야 한다. 모래입자 형상이나 분포상태 등의 영향은 사형 주물의 경우와 똑같지만 이들 여러 인자는 고가의 점결제 소비량에 영향을 주므로 셸형 주물의 경우에는 신중한 고려가 필요하다. 점결제로는 페놀수지가 사용되고 있으며 거의 수지를 모래입자 표면에 피막해서 피복된 레진코티드샌드(resin-coated sand)를 사용하고 있다. 셸형은 조형시 가열비가 높아 일부 콜드박스(cold box)화로 공정을 전환할 수도 있다. 그러나 금형온도를 통상보다 50~70°C 내리고 거기에 수지첨가량을 약 15~30%저감, 중자의 꺾임불량·변형을 적게하여 붕괴성을 대폭 개선한 수지의 개발도 진행되어 그 성과를 거두고 있다.

2.2.8.2. 중자

노블락계 페놀, 포름알데히드수지를 약 3%정도 규사에 레진코티드샌드를 200~300°C로 가열한 금형에 덤프·박스기로 씌우든지 블로잉기로 불어넣으면 금형에 접한 모래층부터 금형의 열에 의해 경화한다. 이 경화층의 두께는 뜨거운 금형과 접하고 있는 시간과 함께 점점 두꺼워지므로 필수최소한의 두께로 조절하면 얇은 셀상의 주형을 만들 수 있다. 이 방법은 주형보다 중자를 제조하는데 많이 쓰이며 그 중자는 금형주조법이나 저압력주조법에 많이 사용된다. 셀중자는 장시간 보존이 가능하며 모래 종류에 따라 냉각속도도 바꿀 수 있다. 그러나 수지의 소성이 불충분하면 가스가 많이 발생해 주물에 악영향을 주므로 가스빼기는 충분히 설치할 필요가 있다.

2.2.8.3. 금형

금형의 재질은 열용량이 크고 열전도가 좋은 것이 유리하다. 두께가 균등한 셀형을 얻기 위해서는 금형의 온도분포가 균등해야 한다. 알루미늄합금은 열전도면에서는 우수하지만 열용량에서는 주철이 우수하며 금형 가열 방식에 따라 금형재질을 선정하는 것이 중요하다. 즉 매회 충분히 예열할 수 있는 조형기에서는 주철같이 열용량이 큰 재질을 채용하고 연속적으로 가열하는 기구의 조형기에는 알루미늄합금이 유리하다. 내마모성, 다듬질 표면상태의 양호성면에서는 주철이 유리하므로 종합적인 견지에서 재질을 선택해야 한다. 일반적으로는 주철이 널리 사용되고 있다.

금형가열은 내부에 시즈히터를 삽입해서 내부부터 가열하는 방법과 도시가스나 프로판가스에 의해 화염을 금형의 표면에 닿게하여 가열하는 방법이 있는데 후자의 방법이 널리 사용되고 있으며 통상 200~300°C로 가열한다. 금형을 설계할 때의 필요사항은 다음과 같다. ①伸尺(수축율): 알루미늄합금의伸尺은 10/1000~13/1000정도가 사용되지만 형상에 따라 수축율이 다르기 때문에 수회의 시작이 필요한 경우도 있다. ②제품의 배치: 한 개의 패턴 플레이트로 가능한한 다수의 제품을 배치할 수 있는 방법을 고안한다. ③탕도, 게이트, 압탕: 이들을 골고루 분포시키는 주조방안을 마련하고 용탕주입후 이들의 절단을 용이하게 할 수 있도록 배려한다. ④분할면: 제품을 두 개로 나눌 경우 맞춤방향의 치수 정도가 떨어지므로 높은 치수 정도가 요구되는 부분은 가능하면 맞춤면 방향에 배치하지 않는다. ⑤압출핀의 위치: 가능하면 많은 압출핀을 균등하게 분포시킨다. ⑥빼기구배: 일반 사형주물과 비교해서 1/2정도의 구배라도 탈형이 가능하다. 따라서 최소한의 빼기구배가 필요한 경우 1/200~1/300로 제작한다. ⑦가스빼기: 충전에 큰 영향을 미치는 요소중 하나이므로 충분히 설치할 필요가 있다. 금형의 분할면에 깊이 0.2mm 정도의 홈을 만들어 빼기한다. 또 금형캐비티를 밴드홀과 연결하는 경우도 있다. ⑧이형제: 일반적으로 실리콘계가 많이 사용되고 있다. 매회 도포할 필요는 없지만 비교적 형상이 간단한 것은 30~40쇼트마다 또, 복잡한 것은 약 10쇼트마다 도포한다.

2.2.9. 콜드박스법 (cold box process)

콜드박스법은 셀몰드법과는 달리 주형을 열로 경화시키지 않고 가스를 주입해 경화시키는 방법이다. 주입하는 가스가 트리에틸렌아민인 경우를 이소큐어(isocure)법, SO₂가스의 경우를 하독스법이라 한다. 각각 사용하는 수지가 다르며 그 특징은 다음과 같다. ①중자의 경화속도가 빠르다. ②축매반응에 의한 상온 경화성이므로 치수정도가 셀몰드법보다 양호하다. ③이형 직후에도 중자경도가 높다. 과경화·미경화없이 균일하게 경화한다. ④조형사이클이 짧아 조형기의 생산성이 높다. ⑤가스가 유독해 과잉가스를 흡수탑에서 산성·알칼리성 용액으로 중화해서 대기로 방출한다. 통상 중자 조형 및 통기를 밀폐박스 안에서 하고 통기 후 과잉가스를 박스에서 배기하는 방법이 취해지고 있다.

2.2.9.1. 이소큐어 법

이소큐어법은 미국의 알슈랜드 오일 인코포레이토드가 개발한 방법으로 일본에 기술도입된 지는 약 20여년 정도 되었다. 이 방법은 페놀수지와 경화제인 폴리이소시아네트를 1:1의 비율로 규사에 약 0.6~1.2%첨가해서 혼합반죽하고 상온 중자형으로 종형한 뒤 경화촉매인 트리에틸아민(TEA)를 통기해서 주형을 경화시킨다. 가스를 통기하기 위한 전용기계가 필요하며 조형방법에 의해 기종이 달라 통상 수동조형하는 방법을 박스타입, 압축공기를 사용해 중자형 안에 혼합반죽사를 흡입해 조형하는 방법은 블로잉타입이라고 한다. 트리에틸아민은 위험물 제4종 제1석유류에 해당하므로 취급상 많은 주의가 필요하다. 트리에틸아민은 상온에서 액체이며 온도의 상승에 의해서도 증기압변화가 적고 주형 안으로의 침투성이 나쁘기 때문에 공기나 CO₂가스를 캐리어가스로 흡입한다. 트리에틸아민의 배기가스는 스크러버(scrubber) 산중화법에 의해 처리한다. 산은 일본에서는 올트인산을, 미국·유럽에서는 황산이나 올트인산이 사용되고 있다. 이론적으로는 올트인산(H₃PO₄) 1몰(98분자량)에 대해 TEA 3몰(303)이 반응하나 pH=4이상이 되면 트리에틸아민의 흡수성이 급격하게 저하하므로 일반적으로는, pH≤4에서 처리액을 교환한다. 바인더에는 몇몇 종류가 있으며 조합에 따라 다른 주형특성을 얻을 수 있다.

2.2.9.1. 하독스법

SO₂-콜드박스법(하독스법)은 프랑스의 SAPIC사가 개발해 1972년 일본에 출원되어 권리화된 방법이다. 일본에서는 1979년 카오퀘이커(구)가 실시권을 얻어 하독스법의 명칭으로 실시하고 있다. 통상 산경화성 수지는 모두 사용할 수 있지만 경화제는 산의 형태로는 사용할 수 없고 「산을 생성시키는 물질인 과산화물」과 「주형 내에 흡입, 산화되어 경화제를 만드는 가스」에 의해 주형 안에서 생성된다. 과산화물로는 메틸에틸케톤파옥사이드, 흡입가스로는 SO₂가스를 사용한다. 혼합반죽은 ①수지 ②과산화물 순으로 행해진다. 수지와 과산화물 및 모래는 상호본질적으로는 반응하지 않으므로 긴 사용가능 시간을 요한다. 그러나 과산화물은 혼합반죽중 서서히 분해되어 산화력이 없어지므로 소위 「사용가능시간」을 가지게 된다. 그러나 수지와는 반응하지 않으므로 다시 과산화물을 가하면 원래 상태로 복귀한다. SO₂는 과산화물이 가지고 있는 활성산소와 방응해서 강도를 가지며 수지를 중합경화시킨다. SO₂가스는 트리에틸아민과 달리 온도에 따라 증기압이 크게 변하므로 통기에 필요한 유량을 충분히 얻을 수 있다. SO₂가스통을 욕조 내에 넣어 가온하고 욕조온도는 40°C까지 하되 그 이상은 고압가스 관리법에서 규제하고 있다. 과산화물은 소방법 제1류 위험물이며 노동안전위생법에서도 위험물에 해당한다. 과잉 SO₂가스는 수산화나트륨으로 중화처리한다. 수산화나트륨의 중화능력은 pH8전후를 한계로 하고 있다.

2.2.10. 풀몰드(Full mold, Lost foam)

모형은 폴리스티렌을 팽창시켜 만든다. 모형은 용탕을 주입시에 주형내에 설치하여 용탕과 접촉하면서 녹아 연소되고 용탕은 주형을 충전 응고한다. 풀몰드는 발포체를 그대로 사용하는 것이고 lost foam법은 폴리스티렌 모형을 세라믹 슬러리에 담가 코팅된 모형을 다져지지 않고 결합되지 않는 주물사로 충전되어 있다. 이러한 공정은 형태나 크기의 제약이 없고 대부분의 금속을 주조할 수 있다. 특히 빠기, 기울기가 필요 없고 flash가 없다. 모형이 고가이고 여러공정으로 소량 다품종 생산에 적절하며 모형관리에 주의 요구된다.

2.3. 금형주조법

2.3.1. 금형주조의 특징

알루미늄합금의 주탕온도가 700°C전후로 낮아 금형에 의한 중력주조는 사형주조 대신 널리 쓰이고 있는데 일반적으로 금형주조라고 불리는 것은 중력금형주조를 가리킨다. 금형주조는 용탕 자체의 중력을 이용해 금속으로 만든 주형 속으로 쏟아부어 주형 내에서의 응고수축을 중력에 의해 보완하는 방식이다. 금형주물은 사형주조에 비해 용탕의 냉각온도가 빠르고 결정립이 미세하게 됨과 동시에 함유가스의 고용량이 증가하고 핀홀이 생기기 어렵기 때문에 기계적 성질이 우수하다. 그러나 주물의 형상, 주조방안에 따라서는 그 자체로서는 지향성 응고를 하는 것이 곤란한 경우가 많아 금형을 공랭 또는 수랭을 이용해서 온도콘트롤을 하거나 도형재의 재질이나 막두께를 바꿈으로써 냉각속도를 조정한다. 경우에 따라서는 단열재에 의해 금형의 보온 등을 조합시켜 압탕부분이 마지막에 응고하도록 연구해야 한다. 특히 냉각속도에 있어서는 형온 보다 도형의 재질, 두께가 큰 영향을 미친다. 그 특징을 요약하면 다음과 같다. ① 사형에 비해 냉각속도가 빠르고 조직이 치밀한 주물을 만들 수 있다. ② 동일금형에서 반복해 주조할 수 있고 다량생산에 이용된다. ③ 모래중자를 사용할 수 있으므로 복잡한 형상의 주물을 만들 수 있다. ④ 주형이 금속이므로 사형에 비해 치수의 정도가 좋은 주물을 만들 수 있다.

2.3.2. 금형

금형은 열충격과 용탕에 의한 침식을 반복해서 받으므로 그것에 견딜 수 있는 재료가 필요한데 일반적으로 그 금형에서 주조되는 제품의 수량, 금형의 재료비, 기계가공비 등이 기준이 되어 선정된다. 기본적으로는 생산량이 적은 것은 주철, 대부분은 주강이나 다이스강이 사용된다. 특히 수랭을 필요로 하는 금형에는 주강이나 다이스강을 사용한다. 금형의 수명은 재질에 따라 다르지만 형조직, 제품형상, 요구되는 주물표면의 베벨, 주조조건 등이 크게 영향을 미친다.

2.3.3. 금형의 가스빼기

금형주물에서는 주탕에 의한 가스발생은 적어 캐비티 내의 공기를 빼내면 좋다. 간단한 형상일 경우에는 가스빼기를 하지 않아도 금형의 맞춤면, 중자프린드등에서 자연스럽게 빠진다. 그러나 모서리각부 분이나 복잡한 형상이라 가스가 들어차 있는 부분 혹은 용탕에 배압이 가해져 탕흐름에 지장을 받을 때는 가스빼기를 해야 한다. 가스빼기는 건전한 주물을 만드는 데 있어서 매우 중요하다. 가스빼기를 하는 방법은 분할면에 홈을 넣거나, 가스가 고이기 쉬운 부분에 구멍을 내거나 플러그를 삽입하거나 한다. 또 주조 핀이 있는 부분에서는 끝에서 가늘게 형을 분할하는 방법도 있다.

2.3.4. 주조방안

기본적으로는 사형방안과 같지만 주형이 금속이기 때문에 사형보다 자유도 면에서 제약이 따른다. 즉 탕구, 탕도, 압탕 등의 위치가 모두 분할면이나 빼기가능한 형상으로 제약을 받기 때문이다. 기본적으로 ① 사형과 달리 열전도가 높아 용탕의 온도저하가 급속하여 용탕의 점성, 표면장력이 상승, 캐비티의 충전성이 저하되기 쉽다. ② 형의 강성이 높아 용탕 응고시 발생하는 변형에 유연성이 없다. ③ 제품두께의 차가 심할수록 금형의 냉각효과의 차에 의한 결함이 발생하기 쉽다. ①에 대해 도형을 충분히 하거나, 용탕이 충전하기 어려운 캐비티의 일부 혹은 전면에서 진공펌프로 연결한 흡인관을 설치해 배기하는 방법이 효과적이다. ②에 대해서는 빼기구배를 크게 하거나, 모서리 부분의 구멍을 크게 하거나 리브를 붙이는 경우도 있다. ③에 대해서는 금형의 두께를 변화시키고 금형의 보온, 냉각을 실시한다.

2.3.5. 도형

도형의 목적은 금형의 급랭효과를 완화하고 금형과 용탕의 직접접촉을 피하고 열적·화학적으로도 안정되게 하며 제품 각부에서 균일한 주물표면을 얻을 수 있다. 일반적으로 시판품으로써 목적별로 주물재 제조업체에서 판매되고 있는 것을 사용하고 있다. 주물표면은 미분일수록 깔끔하게 되지만 탈가스는 반대로 거칠수록 효과가 크게 된다. 도형제 도포에는 숙련을 요하며 도포할 때의 금형온도·도포방법이 도형의 두께에 영향을 미치므로 주의를 기울여야 한다. 도포의 두께는 금형의 냉각능을 변화시키므로 그때 그때마다 일정하게 해야 한다.

2.3.6. 중자

중자에는 금속제중자 및 모래중자를 사용한다. 중자는 치수정도면에서 가능한 한 금속제중자로 하고 고정하는 쪽이 유리하다. 모래중자에는 탄산가스형, 셀형, 콜드박스형이 널리 사용되고 있다. 모래중자를 사용할 때에는 ①주물의 온도구배상 서랭해야 되는 부분 ②두께의 불균일이 현저할 경우 두꺼운 부분에 금속제중자, 얇은 부분에 모래중자를 사용한다. ③제품 내 언더컷(under cut)부 등이지만 가스빼기홀은 여러 개를 만들어 바깥공기와 통하게 하는 것이 중요하다. 또 모래중자를 사용할 경우는 금형과 모래중자와의 냉각효과 차에서 모래중자면에 수축홀이나 다른 결점이 쉽게 발생하므로 경우에 따라서는 모래중자에는 냉심을 사용하거나 알루미늄분말을 도포하기도 한다.

2.3.7. 금형주조기

금형주조기는 다이캐스팅 등과 달리 특정의 형식이 대량생산되는 경우는 드물다. 거의 대부분이 주조업체에서 독자적인 사양으로 자체제작하는 경우가 많다. 때문에 그 사양은 매우 다양하다. 기계적으로 최근에는 유압실린더를 사용해 가동형을 고정형측에 개폐시키는 것이 대부분이다. 게다가 환경대책이나 생인화를 위해 자동주탕장치나 제품취출장치를 조합하는 경우도 많아 무인화 방향으로 가고 있다. 또 주탕시 탕의 난류에 의한 산화물의 발생을 막기 위해 주조기 전체를 기울이는 가경식주조기의 사용도 증가하고 있는 이것은 특히 내압부품, 매니홀더류나 알루미늄휠의 제조에 많이 쓰인다. 어느 것이나 용탕온도, 금형온도의 제어나 취출에 있어서는 컴퓨터를 이용한 자동화로 나아가고 있다.

중력주조(gravity die casting, permant mold casting)

용탕에 압력을 가하는 일 없이, 용탕 자체가 지니는 중력을 이용하여서 금형, 흑연형 등의 영구 주형에 주탕하는 방법. 금형 주조, 중력 금형 주조라고도 한다.

2.4. 저압주조법

2.4.1. 저압주조법의 특징

저압주조법은 1910년경 E.F.Lake에 의해 고안된 주조법으로 실용화는 2차대전 후 영국의 알막스사가 생맥 주용기에 이용한 것이 발단이 되었다. 일본에서는 1960년경부터 치수정도, 외관이 우수하고 용탕충전성이 양호하다는 이유로 이륜차용 실린더헤드 등의 생산에 사용해서 보급되어 왔다. 현재로서는 자동차 부품의 실린더헤드를 중심으로 인테이크 매니홀더, 실린더블록이나 자동차 부품, 알루미늄휠 생산에 널리 사용되고 있다. 주조법의 원리는 밀폐된 용탕유지로 또는 도가니의 상부에 둔 주형가운데 용탕면을 공기 혹은 불활성가스에 의해 가압, 급탕관(stoke)을 통해 용탕을 밀어올려 주형 안으로 주탕하고, 제품부의 응고가 완료된다. 스토크나 탕구부내의 응고하지 않은 용탕은 압력을 제거하여 노중으로 돌려보내고 제품을 취출하는 방법이다.

중력주조법 특징

- ①중자를 사용해 얇고 복잡한 형상을 주조 할 수 있다.
- ②중량수율(용탕주입 중량에 대한 제품중량)이 양호하다.
- ③내부결함이 적다.
- ④치수정도, 주물표면이 우수하다.
- ⑤속련도에 그다지 영향을 받지 않는다.

이것은 용탕을 밀어 올릴 때 가압조건의 조절에 따라 주탕속도가 자유롭게 변하고 조용해 탕의 난류가 적은 주탕을 할 수 있고 금형 각부의 냉각을 조절해 주형온도를 제어하므로, 탕구지향성응고를 비교적 용이하게 할 수 있기 때문이다. 중량수율은 90% 이상이나 되어 기타 주조법과 비교해 현격하게 높고 에너지 절약, 자원절약, 인원감축의 면에서도 우수하며 비용절감에도 기여한다. 그러나 다음과 같은 결점도 있다.

- ①급탕관을 통해 용탕이 공급되고 그것이 압탕을 겸하기 때문에 탕구의 위치나 수가 제약되어 중력금형 주조에 비해 제품의 제작에 제약을 받는다. ②지향성 응고나 탕의 흐름을 완전하게 하기 위해 금형온도나 높아지는 경향이 있어 응고완료까지 시간이 걸린다. 이러한 이유로 주조 사이클이 길어지는 경향이 있다.
- ③유지로에서의 용탕유지시간이 길어지거나 용탕이 급탕관을 왕복하기 때문에 용탕의 교란이 커 비금속 개재물이나 가스함유량이 증가하는 경향이 있다.

2.4.2 .저압주조법의 기본

용탕면을 공기로 가압하면 용탕은 스톡를 통해 탕구를 거쳐 금형캐비티 안으로 유입되어 용탕의 충전이 완료된다. 가압력은 용탕을 밀어올려야 하는 금형캐비티 상단면과 용탕면과의 거리에 상당한 용탕의 정수압적 헤드와 약간의 가압력을 가하지만 통상 가압력은 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하이므로 저압력주조법(Low Pressure Die Casting)이라 한다. 보다 높은 압력을 가해도 좋지만 용탕을 밀어올려야 하는 정수압헤드는 알루미늄합금의 경우 그다지 높지 않아도 되는 경우가 많으며 또 그후에 가하는 압력을 높이면 금형의 분할면, 압출핀과 금형간의 틈, 가스빠기등에 용탕이 들어가 작동이나 청소가 어려워지는 것, 응고가 늦은 부분에 공정편석등이 생겨 반대로 품질향상에는 효과가 없는 경우가 대부분이다. 용탕은 충전중에 금형에 의해 열이 흡수되어 제품의 상부만큼 온도가 저하되어 탕구를 향해 온도구배로 지향성 응고 한다. 복잡한 제품형상이면 이 지향성 응고가 생겨 주조결함이 발생하므로 주물의 두께, 금형두께, 금형의 국부 냉각, 단열재에 의한 금형의 보온 등에 의해 적절한 상태의 응고를 도모해야 한다. 일정 시간 가압하고 응고가 탕구부까지 진행된 시점에서 가압을 멈추고 가압탱크 중의 압력을 대기압으로 되돌린다. 그 후 취출가능강도가 될 때까지 금형 안의 제품을 냉각해서 취출한다.

저압력주조법의 가압방법은 제품의 품질에 미치는 영향이 크므로 잘 검토해야 한다. 일반적으로 가압에 따라 용탕이 스톡 안을 상승해서 탕구까지 도달하는 단계를 제1단가압이라고 하고, 가압되어 용탕의 금형캐비티 내를 유동하는 단계를 제2단 가압, 용탕의 충전이 완료해도 용탕을 다시 가압해 응고수축에 대한 용탕효과를 구하는 단계를 제3단 가압이라 한다. 제1단 가압은 용탕온도의 저하를 막기 위해 용탕을 급속하게 상승시키는 공정인데 용탕면에서 탕구까지의 간격이 적은 경우에는 반드시 필요한 것은 아니다. 제2단 가압시 승압속도의 관리는 특히 중요하며 너무 늦으면 탕와류가 발생하고, 너무 빠르면 산화물의 발생·가스유입이 발생한다. 충전속도는 가압속도와 탕구단면적에서 결정되지만 충전속도는 가압속도와 탕구단면적에서 결정되지만 충전속도가 변동하는 원인 중 하나로 캐비티는 내부배압이 고려된다. 만약 배압이 크면 가압조의 가압속도만으로는 용탕의 유속을 제어할 수 없고 조내 압력에서 배압을 뺀 차압의 상승온도로 고려되어야 하며 제어가 복잡하게 된다. 이러한 이유에서도 가스빠기는 충분히 되어야 한다. 제3단 가압시 압력이 높으면 유리하지만 너무 높을 경우에는 가스빠기의 약화, 도포박리 등을 초래한다.

2.4.2.1. 제1단 가압의 제어

용탕의 스톡 중을 상승하고 탕구에 도달 할 때까지의 제1단 가압공정에서는 용탕의 온도저하를 방지하기 위해서는 상승속도를 크게, 즉 가압속도를 크게 하면 유리하다. 그러나 상승속도가 너무 크고 액면이 너무 커서 액면이 흐트러지면 용탕중에 공기가 휘말려 산화물이 발생하게 된다.

알루미늄합금의 동점성 계수는 물의 동점성 계수와 큰 차는 없으므로 이 한계를 구하는 모델실험에는 물을 이용할 수 있다. $\Phi 98, 50, 10\text{mm}$ 인 스톡를 사용하고 각각 최대 $0.03, 0.08, 0.12\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{sec}$ 인 가압속도에서 실험했다. 수중에 혼입한 목분의 운도에 의한 흐름을 모식도로 나타내면 모두 스톡 하단 유입구 부근의 액중에서 흐름의 방향 및 유로단면적이 변화하기 때문에 난류가 된다.

스톡 하단의 난류의 영향에 의해 가압을 시작할 때 스톡 하단과 조의 바닥면과의 간격 X 와 스톡의 액면 삽입깊이 H_o 와의 관계에서 액면이 흐트러진다. 이것은 X, H_o 의 한쪽 또는 양쪽이 너무 적으면 발생한다. $\Phi 98\text{mm}$ 의 스톡를 사용한 정상상태의 가압속도가 $0.027\text{kg}/\text{cm}^2\cdot\text{sec}$ 에서의 결과이다. 난류는 X 와 H_o 가 적을수록 심해지고, X 가 5mm 이하에서는 H_o 가 100mm 이더라도 난류가 발생하는 것은 액체의 관성력, 유로의 저항과 가압공기의 가축성에 의한 것이며 가압개시시 매우 짧은 시간동안 가압속도가 과대하게 되기 때문이라고 생각한다. 따라서 제1단 가압은 가압속도를 크게 해도 되지만 스톡간격 X 와 삽입깊이 H_o , 즉 잔탕량에 유의해야 한다.

2.4.2.2. 제2단 가압의 제어

가압속도에 따라 스톡 내의 유속이 변하므로 탱크에서 유로가 짜여 들어갈 경우 유속이 너무 크면 분출류가 되어 난류가 된다. 따라서 탱크를 어느 정도의 유속, 즉 가압속도로 통과시킬 것인가가 제2단 가압에서는 중요하다. 10종류의 노즐에 관해 가압속도 V_p 와 최대분출높이 H_s 와의 관계 및 각 노즐에 대해 난류를 발생시키지 않는 한계가압속도 V_c 를 나타낸 것이다. V_c 에는 노즐의 지름, 즉 드로잉비(노즐단면적/스톡단면적)의 영향이 가장 크다. 금형을 설계할 경우, 탱크부의 유로단면적을 최소화 하는 것이 보통이므로 캐비티 내에서 자유낙하는 부분을 제외하고 탱크부에서 난류가 없는 유로 즉 가압속도가 제2단 가압속도의 상한이 되게 한다.

2.4.2.3. 제3단 가압의 효과

탱크부 용탕을 통해 전달되는 가압력이 압탕효과로 작용하기 위해서는 용탕을 금형에 채우는 데 필요한 압력을 전체 가압압력에서 뺀 유효가압력 ∇P 로 고려해야 한다. 유효가압력 ∇P 와 탱크부 부근의 수축캐비티 결함 정도와의 관계를 나타낸 것이다. ∇P 가 크게 될수록 결함량이 적어져 가압효과를 인식할 수 있다. ∇P 의 정도를 높이기 위해서는 제품의 냉각속도를 고려한 가압속도의 설정과 주탕완료시점의 검출이 중요시된다.

2.4.3. 금형 및 주조방안

저압주조의 금형은 중력금형주조와 기본적으로는 거의 동일하다고 생각해도 좋다. 금형재질은 보통 주철, 덕타일주철, 탄소강, 다이스강 등이 일반적으로 사용된다. 특히 지향성 응고 등을 위한 가열, 냉각을 동반하는 경우는 다이스(열간합금공구강)강이 사용된다. 가이드핀·압출핀 등에는 탄소강, 다이스강이 사용되며 중자에는 빠기가 가능한 경우는 금속제를 사용하고 언더커팅을 수반하는 것은 모래중자(셀몰드나 콜드박스 중자)가 사용된다. 스톡 내의 용탕 왕복에 의해 발생하는 산화물은 탱크에 금속망이나 세라믹필터를 장착해 제거한다. 또 스톡의 하단에 필터를 붙이고 용탕 중의 산화물을 제거하는 경우도 있는데 이것은 스톡 내의 산화물에 있어서는 문제가 된다. 위의 방법 모두 산화물의 주물로의 혼입을 완전히 방지하는 것은 곤란하며 이들은 조합해 산화물의 혼입을 최소한으로 하고 있다. 단 스톡은 평상시 용탕에 침지되어 있으며 내부는 주조 사이클마다 용탕이 왕복하므로 재질이나 도형재 선정이 중요하다. 종래에는 주철계가 많았으나 용탕의 철오염이라는 문제가 있어 최근에는 알루미늄합금의 침식에 강한 세라믹계가 개발되어 사용되고 있다. 저압주조의 주조방안은 주조하는 제품의 탱크에서 거리가 떨어져 있는 부분부터 응고가 시작되어 서서히 탱크부분으로 응고가 진행되어 가는 지향성 응고를 기본으로 하고 있다. 이러한 이유로 탱크는 가장 중요한 부분이며 제품의 형상을 충분히 고려해서 그 위치, 크기를 결정해야 한다. 또 제품의 크기나 형상에 따라서는 탱크에서 분기한 탱도를 만들어 용탕이 빨리 충전할 수 있도록 하거나 압탕이 활발한 부분에 복수의 스톡을 붙이는 경우도 있다. 단 저압주조는 압탕을 설치하지 않는 것이 기본이지만 제품형상에 따라서는 지향성 응고가 없는 것도 있으며 그러한 경우는 주조구조를 연구해서 압탕을 설치하는 경우도 있다.

2.4.4. 최근의 저압주조기의 동향

저압주조기는 금형개폐를 하는 유압장치와 도가니 및 스톡을 내장한 밀폐로, 그리고 가압을 하기 위한 가압 제어장치로 되어 있다. 그러나 전술한 바와 같이 많은 이점이 있는 반면 사이클 타임이 길어 생산성이 낮다는 것이 큰 문제가 되고 있다. 최근 복잡한 형상의 주물이 많아지고 주물품질을 확보하기 위해 금형온도를 높이게 되므로 사이클 타임이 더 지연되는 경향이 있다. 때문에 생산성 향상의 수단으로 주조기의 자동화가 진행되고 있다. 특히 중자의 자동세트장치, 금형교환시스템, 제품취출장치, 자동배타장치 등을 들 수 있다. 또 주조 사이클을 단축하기 위해 가동platen의 스피드를 빨리 하거나 여러 개로도 행해지고 있다. 특히 여러 개로 할 경우에는 금형 한 면에 대해 한 개의 스톡으로 금사이에 분배기로 분기해서 금형으로 용탕을 공급하는 유형도 있다. 분배기의 보온, 가열에는 최근 유도가열장치가 이용되고 있다. 용탕가압은 컴퓨터에 의한 제어가 일반화되고 있다. 사이클 타임에 있어서는 금형의 수랭이 적극적으로 채용되고 있으며 응고해석의 진전과 함께 금형냉각장치도 컴퓨터화되어 세분화되고 다양한 제어가 가능하게 되었다. 그 결과 응고시간 단축을 다양한 방법으로도 모할 수 있게 되었다. 그러나 컴퓨터 제어라고 해도 금형캐비티 내부에 삽입된 온도 센서의 위치와 냉각관위 치와의 상호관계, 금형의 두께변화에 의한 영향 그리고 제품마다의 두께, 형상에 대한 고려 등 여러 가지 문제가 대두되고 있어 간과해서는 안된다. 한편 공정을 개량해서 몇 개의 문제점을 개선하는 노력도 진행되고 있다. 다음은 실용화되고 있는 주조법에 관한 설명이다.

2.4.4.1. 르노식 저압주조기

프랑스의 르노사에서 개발된 방식으로 주형개폐기구와 유지로를 분리 독립시킨 구조로 되어 있으며 노에서의 열영향을 없애고 금형의 냉각을 용이하게 하고, 응고시간의 단축을 도모한 것으로 생산성을 향상시킬 수 있다고 한다. 지금까지는 거의 채용되지 않았지만 탕구 바로 아래에서 상시 용탕을 유지시키는 가압제어기술이 개발된 것이나 연결관의 단열기술의 향상에 의해 탕구 바로 아래의 용탕유지부의 온도저하를 방지할 수 있도록 되어있는 경우도 있어 재검토되고 있다.

2.4.4.2. 흡입주조법 (TDP법)

저압주조법의 문제점인 생산성 향상을 겨냥한 낮은 금형온도에서도 탕의 흐름이 잘되게 하고 지향성 응고도 달성할 수 있도록 금형 내의 배압을 제거하고 탕류성을 향상할 목적으로 개발된 방법이다.

가압에 의해 빨아올리는 방식으로 용탕의 캐비티 내에 충전하는 방법은 히치너사의 CLA법이나 알코아사의 VACUUM법이 알려져 있는데 이들 방법을 다시 개발향상시켜 도요타 자동차가 개발한 것으로 금형흡입주조법(TDP법)으로서 실린더블록 등에 실용화되고 있다. 기본적인 개념도는 장치는 금형을 밀폐된 실내에 두는 것 이외는 종래의 주조기와 기본적으로는 같다.

주조는 우선 금형전체를 밀폐챔버로 닫고 챔버안을 감압한다. 밀폐챔버 내의 감압에 따라 금형캐비티 내도 감압되고, 유지로의 용탕은 스톡으로 캐비티안에 충전된다. 제품부가 응고완료되면, 감압을 해제하고, 스톡 내의 용탕을 원상복귀시키고, 동시에 밀폐챔버를 빼내어서 금형에서 주물을 추출해 내는 것으로 완료한다. 이 방법의 이점은 금형 내의 배압이 낮아 탕의 와류나 가스 유입, 그리고 생산성이 현격하게 개선된다는 것이다.

2.4.4.3. 차압주조법

불가리아에서 개발된 저압력주조법의 개량이라고 생각해도 좋은 방법이다. 저압력주조법의 설비와 유사하다. 상하 볼스터(bolster)와 함께 가압실을 형성 하게끔 실드용 후드를 금형외주에 설치한다. 이것은 금형에서 기밀상태를 유지시키기에는 금형구조가 곤란하기 때문이다. 반대로 실드용 후드 때문에 가로방향 금형의 개폐공정이 제한되는 결점도 있다.

통상의 저압력주조법의 탕면을 가압하는 용탕가압실과 금형측 가압실을 동시에 가스체에서 5~10kg/cm², 때로는 30kg/cm²의 압력을 가한다. 금형측 가압실의 압력을 미세압조정변을 열어 저압력주조법의 용탕가압실 정도인 1kg/cm²이하의 적은 압력을 릴리프해서 용탕가압실의 압력간의 차이를 만든다. 이 차압에 의해 용탕이 스톡에서 금형 캐비티에 주입된다. 금형가공실도 4~9kg/cm²정도의 압력으로 계속 가압되고 있으므로 용탕의 응고도 이 영향을 토대로 진행한다. 따라서 응고가 시작되고 응고수축이 발생함과 동시에 그것을 보완하도록 용탕이 밀려 들어가고 수축기포가 발생하지 않는 완전한 주물이 되는 것이다. 다만 이 현상이 올바르게 수행되기 위해서는 완전한 지향성 응고가 탕구방향으로 진행되어야 한다. 지향성 응고를 촉진시키기 위해서는 금형 중 일부를 가열·냉각해야 하지만 냉각은 어쨌든 금형을 외부에서 국부가열하기 위해서는 전열 이외에 금형측 가압실의 후드가 장애가되어 어려워진다. 응고가 완료된 뒤 양측 가압실의 압력을 개방하면 스톡 내의 용탕은 도가니 안으로 원상복귀된다. 금형측 가압실과 금형을 열고 제품을 빼낸다.

통상의 저압력주조법보다는 기계장치가 복잡해지고 주조사이클도 복잡해진다. 그러나 가압공기하에서는 냉각능이 높아지므로 칠타임이 단축되고 통상의 저압력주조법보다 사이클 타임이 빨라진다. 문제는 기계장치가 복잡해지고 상당한 고가라는 점 특히 금형측 가압실의 후드의 실링등에 보수정비가 어려워지는 등의 결점이 있다.

2.5. 다이캐스팅 (die casting)

2.5.1. 정의와 용어

다이캐스팅은 「정밀한 금형에 용탕을 주입해 고압에서 주조표면이 우수한 주물을 대량 생산하는 주조방식과 그것에 의한 제품을 말한다」라고 정의되어 있다. 일본어로는 다이주물이라는 말도 사용되고 있지만 미국의 die casting을 채용하도록 되어 있다. 영국에서는 금형주조를 gravity die casting, 저압주조를 low pressure die casting, 다이캐스팅을 pressure die casting이라고 한다

2.5.2. 특징

다이캐스팅의 대표적인 장점과 단점은 다음과 같다.

《장점》

- ①복잡한 형상의 제품을 한 공정에서 대량생산 할 수 있다.
- ②고속고압충전이므로 용탕와류가 없고 주조상태의 치수정도가 좋다.
- ③고속고압충전이므로 탕류가 양호하고 얇은 제품을 만들 수 있으며 주물표면이 미려하다.
- ④고속충전 및 급랭응고이기 때문에 시간당 생산성이 좋다.
- ⑤급랭에 의한 칠층의 형성에 의해 기계적 성질이 향상된다.

《단점》

- ①공기나 가스의 유입에 의한 기공에 대처해야 한다.
- ②공기나 가스의 유입 때문에 용체화 처리나 용접을 할 수 없다.
- ③금형이 고가이므로 경제성 있는 대량생산을 확보할 수 없다.

2.5.3. 다이캐스팅기

슬리브와 플랜저가 용탕 속에 없고 가열시키지 않았다 하여 골드챔버라고 불리고 있다.

한편 핫챔버라는 머신은 아연이나 마그네슘 다이캐스팅에 사용되고 있으며 알루미늄합금에 이용되는 경우는 없다. 일본의 콜드챔버 다이캐스팅머신은 형체력이 최소 0.5MN, 최대40MN이다. 사출력은 형체력의 1/10~10/20이 된다.

2.5.4. 다이캐스팅 사이클

콜드챔버머신에 의한 알루미늄합금 다이캐스팅의 1사이클에 대해 설명하겠다.

- a)머신의 주형조임작동으로 가동형을 고정형에 맞춰 두 개의 금형을 닫는다. 레들로 알루미늄합금 용탕을 콜드챔버라고 하는 슬리브에 주입한다.
- b)플랜저가 작동하고 용탕을 금형캐비티내에 고속고압으로 압입한다. 금형은 과열을 방지하기 위해 수랭한다.
- c)용탕이 응고하면 금형을 열고 플랜저와 가동중자를 원상복귀시킨다.
- d)압출핀을 작동시켜 제품을 금형에서 밀어낸다.

다이캐스팅하는 제품의 크기에 따라 사용하는 기계의 크기를 결정한다. 다이캐스팅의 1사이클은 소형은 수 초, 대형은 수 분이며, 소형재의 제조방법으로는 고생산성을 꾀하고 있다. 최근 다이캐스팅 생산에서는 이들의 작동을 자동화하고 무인화를 겨냥한 공장도 있다.

알루미늄합금 다이캐스팅의 대표적인 주조조건항목인 주조압력은 10~200MPa, 게이트속도는 2~100m/s의 범위이며 그 결과 충전시간은 0.01~0.7s, 냉각속도는 30~100°C/s이다. 다이캐스팅의 주조조건은 중력주조법의 그것과는 상당히 다르다. 특징은 다음과 같다.

- ①고압력으로 주조한다. ②고속으로 주조한다. 그래서 금형으로의 충전시간이 매우 짧다. ③금형 내에서는 충전된 용탕을 급속하게 냉각하고 응고시킨다.

2.5.5. 다이캐스팅의 제조공정

대부분의 공장에서 행해지는 다이캐스팅작업은 자동급탕장치, 플랜저 유회장치, 자동스프레이, 제품취출장치 등으로 지원되어 기계화 및 시스템화 되고 있다. 전자동운전, 무인운전도 실현되고 있다. 트리밍 장치는 주로 편칭프레스작업에 의존하고 있는데 샌드블라스트나 쇼트블라스트를 병용하기도 한다. 후가공에서는 기계가공과 표면처리를 한다. 표면처리는 버핑, 화성처리, 도장, 양극산화처리, 도금 등을 선택할 수 있다.

2.5.6. 다이캐스팅의 치수공차

제품에 요구되는 치수정도는 최종가공 후의 것으로 소재의 오차와 가공에서의 오차가 가산되는 것은 말할 필요도 없다.

대표적인 알루미늄합금 다이캐스팅ADC12의 주조상태의 치수공차는 다음과 같이 해석할 수 있다.

①치수공차=주물공차+금형공차+수축대산정공차+주조조작상의 공차

②최고 가능치수공차의 계산식

$$\epsilon = \pm 0.75 \times 10^{-3} \times L \text{ (mm)}$$

③정밀치수공차의 계산식

$$\epsilon = \pm (1.15 \times 10^{-3} \times L + 0.1) \text{ (mm)}$$

④일반치수공차의 계산식

$$\epsilon = \pm (2.15 \times 10^{-3} \times L + 0.2) \text{ (mm)}$$

이 때 L. 는 금형캐비티의 상온에서의 길이, ϵ 는 다이캐스팅의 치수차를 나타낸 것이다. 주물공차를 변동시키는 요인은 금형온도차이다.

치수공차의 표준으로는 JIS B 0409 다이캐스팅 보통 허용차가 있어 길이의 보통 허용차와 탈구배 각도의 최대값이 정해져 있다.

(사)일본다이캐스팅협회는 다시 세부를 표준화하고 길이의 허용차, 각도의 허용차, 평면도의 허용차, 편심의 허용차 등을 표시했다.

2.5.7. 다이캐스팅의 기계적 성질

다이캐스팅의 기계적 성질은 단순형상의 개별 용탕주입 시험편에 있어서 측정치와 양산품에서 잘라낸 시험편에서의 측정치를 나타낸 것이다. 일반적으로 전자가 후자보다 수치가 크다. 개별 용탕주입 시험편으로는 ASTM시험편이 유통되고 있다.

다이캐스팅의 강도를 대용특성으로 보증할수는 없다. 실제,실용 부하에 준한 하중을 다이캐스팅에 가해 파괴하고 견딜 수 있는 하중이 통계적으로 보증가능한 수치, 예를 들면 3σ 의 하한값을 구한다.

2.5.8. 다이캐스팅의 결함과 대책

결함을 어느정도까지 허용하는 가는 상품의 요구품질에 따라 달라지므로 거래시 한도를 명확히 해두어야 한다.(사)일본다이캐스팅협회에서 주물표면기준과 기포 기준을 제시한 바 있다. 파단칠층이라는 새로운 결함명칭도 있다. 다이캐스팅의 사출슬리브 내에서 생성된 응고층이 플랜저에 의해 파단되어 용탕에 유입되어 캐비티 안으로 들어온 이상조직이라고 해설되고 있다. 파단칠층과 정상조직과의 경계면강도는 9kgf/mm^2 이하로 삽입되어 정상조직부의 강도에 비해 현저하게 낮다. 이것이다이캐스팅의 강도를 극단적으로 저하시키는 원인이 된다. 다이캐스팅의 강도에 대한 요구의 정도에 따라 파단칠층의 발생 방지방법의 개발이 진행되고 있다. 세라믹 슬리브법, 분체유회법 등 사출직전의 슬리브내 용탕의 보온성을 높이는 방법이 모색되고 있다.

2.5.9. 새로운 다이캐스팅방법

다이캐스팅은 고도의 생산성과 얇은 제품의 양호한 탕흐름을 세일즈포인트로 해서 양적 확대를 진행해 왔다. 그러나 그것을 실현하는 고속충전은 한편으로는 혼입에 의한 기포를 피할 수 없는 원인이 되기도 한다. 주물로서 충전성, 기밀성, 강도의 레벨업, 그리고 열처리나 용접이라는 제품설계상의 요청에 의해 몇몇 새로운 다이캐스팅 방법이 개발되었다.

2.5.9.1. 진공법

진공법의 역사는 꽤 오래되었다. 현재 공업적으로 알려져 있는 방법에는 GF법, 매스벤트법, 셔트오프핀법, RSV법, 슈퍼백법, MFT법, VACURAL법 등이 있다. 일본에서 많이 쓰이고 있는 진공법은 GF법이다.

2.5.9.2. PF법

무공성 다이캐스팅이라고도 불린다. 금형캐비티 및 슬리브 내의 공기를 산소로 퍼지해서 고속사출에 의한 분무상태의 용탕과 산소를 화합시켜 산소를 Al_2O_3 로 고정화함으로써 기포를 없앤다는 원리이다. PF법으로 만들어진 다이캐스팅은 용체화처리·인공시효 열처리가 가능하다. 용접을 하는 경우도 있다.

2.5.9.3. 국부가압법

금형캐비티에 용탕충전을 완료한 후 가압핀을 소정의 스트로크만큼 압입함으로써 주조압력보다 높은 국부가압을 캐비티 내의 용탕 또는 반응고체에 가한다. 이러한 가압에 의해 생긴 캐비티 체적의 감소분의 공극을 메우는 효과가 있다. 게이트에서 떨어진 부분에 고립되어 있는 두꺼운 부분의 기포에 대한 대책에 효과적이다.

2.5.9.4. 핫챔버법

핫챔버머신법은 사출기구부가 용탕에 잠겨있기 때문에 명명된 것이다. 강제의 사출기구부는 알루미늄합금 용탕에 침식되기 쉬우므로 통상 핫챔버머신이 알루미늄합금 다이캐스팅에 사용되는 경우는 없다. 그러나 이 방식의 높은 생산성, 고도의 자동화 수준, 용탕품질의 안정도를 적용할 수 있으면 알루미늄합금 다이캐스팅에도 새로운 수요개발을 기대할 수 있다. 중소기업사업단은 1987년에 형체력 2.5MN의 핫챔버머신을 시험작동했다. 알루미늄합금 용탕과 접촉하는 부품에 질화규소 등의 세라믹재료를 사용하고 있다. 운전시험을 한 결과 품질의 향상, 슬림화, 생산성 향상, 에너지 절약 등을 기대할 수 있게 되었다.

2.5.9.5. 붕괴성중자법

언더컷트형상에의 제약이 다이캐스팅의 단점 중 하나이다. 해결법 중 하나로 금속제중자 세팅을 사용하는 방법이 있다. 또 하나인 붕괴성중자로 염이나 규사를 골재로 사용하는 방법이 활용되게 되었다.

애큐래드법 (aqurad method)

저압 주조법과 다이캐스팅법과의 중간이 되는 방법. 미국의 재너럴 모터스(GM)사가 개발한 것이다. 그 특징으로는

- (1) 넓고 두꺼운 탐구,
- (2) 느린 사출(射出) 속도,
- (3) 인너플랜저(inner flanger)에 의한 응고 중의 가압,
- (4) 금형의 온도 제어 등이다.

2.6. 스퀴즈캐스팅(squeeze casting, 고압주조)

2.6.1. 정의와 용어

(사)일본다이캐스팅협회의 정의에 의하면 스퀴즈캐스팅법이란 「금형의 캐비티에 저속충전한 용탕에 기계적 외력에 의해 고압을 가하고 주조응고시키는 주조법, 알루미늄합금에 널리 실용화되고 있다. 기포가 적고 강도가 우수한 다이캐스팅을 얻을 수 있다. 기본적 가압방식에 따라 플랜저가압법, 직접압입가압법 및 간접압입가압법 등 세 방식이 있는데 모두 다이캐스팅법에 포함된다. 용탕단조라고 하는 것이 있는데 용탕을 단조할 수 없으므로 학술용어로는 사용할 수 없다」라고 쓰여 있다. 그리고 고압주조법, 고압응고주조법, 용탕단조법을 동의어로 들고 있다.

2.6.2. 개발의 배경

주형중의 용탕에 금속중자를 압입해 성형하는 방법을 Corthius Process라고 하며 영국에서 1930년대에 알루미늄합금 자동차부품의 제조에 사용되었다고 한다. 용탕단조라는 말은 1965년경부터 사용되기 시작했다. 가압방식에는 직접압입가압법과 간접압입가압법이 있다. 직접법은 펀치앤드다이로 구조로 용탕단조의 이미지가 있기는 하지만 제품에 단조효과는 없다. 한편 간접법은 저속충전 수형 다이캐스팅법이라고도 한다.

1966년에 개발된 어큐래드법에 이어 층류충전법 혹은 저속충전법 이라고도 하는 다이캐스팅방법이 개발되었다. 금형 내에 가스의 유입을 방지하기 위해 난류가 되지 않도록 한다. 층류한계내에서 금형캐비티를 충전하고 용탕의 선단에서 가스를 차례로 배출하는 방식이다. 알루미늄합금 용탕의 층류한계는 1.5m/s정도라고 산정되어 있으며 보통 다이캐스팅에서 일반적으로 사용되고 있는 20-60m/s의 게이트 속도에 비해 1/20-1/60 게이트속도가 사용 되었다.

1970년대에 들어서면서 자동차용 알루미늄 휠의 생산성 향상에 대한 요구가 스퀴즈캐스팅법 개발의 신 단계를 이룩하였다.

고압응고법이라 명명된 알루미늄 타이어휠의 제조법 개발에 대한 요구는 다음과 같다.

- ①생산성 및 외관은 다이캐스팅과 동등하게 할 수 있다.
- ②내부품질은 중력주조, 저압주조보다 신뢰성이 높다.
- ③열처리가 가능할 것.
- ④알루미늄합금으로서 최고의 강도를 확보 할 수 있을 것.

현재 공업적으로 사용되고 있는 스퀴즈캐스팅머신은 경전식주조법, 수형가압주조법, 중압다이캐스팅법, NDC법 등의 유형으로 나뉘어진다.

2.7. 반고상 성형법 (semi solid process)

2.7.1. 개요

반용융/반응고가공 공정이란 「고액공존상태의 금속에 강력한 전단력을 가함으로써 미세한 입상결정을 가지는 슬러리를 만들고 이것을 성형가공해서 최종형상에 가까운 제품을 만들고자 하는 공정」을 말한다. 1970년대 초 미국 MIT의 Flemings교수 등은 반응고상태의 합금이 뉴턴유동 움직임을 나타내지 않고 외관점도가 전단속도 및 시간에 따라 저하하는 소위 식소트로픽 반응을 나타낸다는 것을 발견했다. MIT에서는 기초연구를 계속하면서 미국정부의 지원을 받아 연구개발하고 있다. 한편 유럽에서도 영국 셰필드대, 독일 아펜공대, EFU사, 프랑스의 파리광산대에서 연구되고 있다. 일본에서는 1988년 기초기술 촉진센터 및 민간18개사의 출자에 의해 반응고가공 공정의 R&D회사 레오테크가 설립되어 연구개발이 실시되었다. 반응고가공 공정은 주로 자동차용 부품, 전기용 부품으로 실용화되고 있는데 그 대부분이 알루미늄합금이다.

먼저 1980년대에 들어서 미국ITT-Cannon사에서 알루미늄합금제 케이블 커넥터 등의 전기부품에서 실용화했고 그 후 미국 Alumax사가 전자교반법에 의한 반응고금속의 제조기술 및 그 가공기술을 개발해 자동차 부품을 중심으로 급속하게 실용화가 추진되고 있다.

Alumax사에서는 1990년에는 미국 빅3(GM, Ford, Chrysler)에 부품공급을 시작해서 1992년부터는 대량 생산에 들어가 최근에는 수용에 대응하기 위해 공장 신건설도 계획되고 있다.

유럽에서도 1987년 ITT-Teves사가 Volvo, BMW, Audi 등에 납품하고 이태리의 Weber사 및 Stampal사에서는 독자적인 기술에 의해 연료 레일등 자동차용 알루미늄부품이 실용화되고 있다. 일본에서는 Alumax사의 기술을 도입해 스피드스타사가 1994년부터 알루미늄 휠의 생산을 개시했다.

2.7.2. 각종 반고상 성형 공정

반용융/반응고가공 공정에는 각종 방법이 있다.식소트로픽한 거동을 보이는 입상조직 소재를 제조하는 공정과 그소재를 성형가공하는 공정으로 나누어서 생각할 수 있다.

2.7.2.1. 소재제조

미세한 입상조직을 얻는데는 용탕을 냉각시키면서 응고계면에 전자기적 혹은 물리적·기계적으로 전단력을 작용시켜 수지상 결정을 분단시키는 방법이 일반적이다.

전자기력에 의한 방법은 DC주조와 조합할 수 있으며 구미에서는 빌렛의 제조에 사용되고 있다. 용탕을 좁은 유로 내에 강제적으로 통과시켜 전단력을 부여하는 스태틱믹서법도 이태리에서 실용화되고 있다. 최근 Al-Ti-B 등의 미세화제를 첨가하고 이것을 고액공존영역에서 적절하게 재가열함으로써 입상조직으로 하는 방법에서도 같은 효과를 얻을 수 있어 저렴한 제조법으로도 주목되고 있다.

한편 통상적인 DC주조 빌렛에 미리 압출한 소성가공에 의해 변형을 부여한 후 고액공존영역에서 가열해 입상조직으로 하는 방법은SIMA법으로 알려져 있으며 알루미늄합금 뿐만 아니라 동합금이나 합금강의 소형 부품에도 적용되고 있다.

이외 용탕을 분무퇴적시켜 고화체를 만드는 스프레이포밍법에 의해서도 미세한 입상조직의 소재를 얻을 수 있다.

2.7.2.2. 성형가공

소재제조-성형가공 일련의 공정에 있어서는 교반에 의해 제조한 반응고 슬러리를 직접 주형으로 공급해 성형하는 레오성형법과 입상화 처리한 빌렛에서 필요량을 잘라내어 가열하고 고액공존영역에서 성형하는 식소성형법이 있다.성형에는 주조, 단조, 압연, 압출 등 일반적인 가공을 적용할수있다. 레오성형법은 직결화에 의한 에너지 절약, 공정단축이라는이점을 살려 판압연 등의 경우에는 유리하지만 소재형 제품에 대해서는 슬러리 제조속도와 성형속도가 불균형하다는 것과 슬러리를 정량으로 잘라내기 어렵다는 문제가 있다.실용화되고 있는 것은 대부분 식소성형법이다.식소성형법에는 반용융체를 주형 안으로 사출해서 성형하는 주조법과 반용융체를 주형 안에 두고 성형하는 단조법이 있다.

2.7.3. 반고상성형 공정의 특징

고액공존상태의 금속이 가지는 식소트로픽한 성질과 액체상태에비해 엔탈피가 적다는 점이 충분히 발휘되며 다음과 같은 특징이있다.

2.7.3.1. 제품품질의 향상

슬러그는 성형시에는 마치 액체처럼 유동해 층류상태에서 주형내부를 채우기 때문에 가스유입이 적고 편석도 적다.또 응고조직은 미세하고 균일해 기계적 특성의 불규칙성이 적고 두께에 의한차도 적다. 단조품과 동등한 특성을 얻을 수 있다.가스가 적어 T5,T6같은 열처리도 가능하며 블리스터의 발생은 거의 볼 수 없다.

2.7.3.2. 니어넷성형

응고가 일부 진행된 상태에서 성형되기 때문에 응고수축이 적다. 제품의 형상 및 치수정도는 매우 높다. 따라서 표면상태는 원래 관이나 홈이 있는 복잡한 형상의 부품에서도 탈테이퍼를 적게 취하므로 천공, 스크류가공, 다듬질 등의 기계가공수의 절감 혹은 저감, 수율의 향상을 도모할 수 있다.

2.7.3.3. 고생산성

응고잠열의 일부가 방출되기 때문에 응고시간이 짧고 사이클 타임의 저감이 가능하며 부품형상에도 기인하지만 2할정도의 생산성 향상으로 이어진다.그리고 가장 큰 특징은 금형에의 열부하가 용탕 다이캐스팅법에 비해 40~50°C낮아 금형수명이 대폭 향상된다.

2.7.3.4. 작업환경의 개선

식소성형법에서는 기본적으로 용탕을 취급하지 않기 때문에 작업환경 및 안전성 면에 있어서 양호하다. 또 가열 슬러그는 고체처럼 다룰 수 있기 때문에 로봇의 활용 등 공정의 자동화가 용이하다.위와 같은 특징을 가지는 반면 다음과 같은 점에 유의해야 한다.

2.7.3.5. 온도제어

합금종, 제품형상에 의하지만 주형 내에 균일하게 채우고 편석을방지하기 위해 소재 슬러그 내의 온도 분포를 $\pm 2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 로 제어해야한다. 즉 온도차가 크면 고상율의 차이에 의해 유동상황이 불균일하게 되어 충만, 편석 등에 영향을 준다. 또, 가열은 급속하게 그러나 균일하게 한다. 결정립의 조대화가 일어나지 않도록 주의해야 한다.

2.7.3.6. 사출조건

식소캐스트법에서는 층류가 되도록 조용하게 사출하는 것이 중요하며 통상 고상율은 0.3~0.7정도로 한다. 사출속도는 용탕 다이캐스팅법에 비해 저속이며 고상, 액상의 흐름을 균일하게 제어하고 가스나 산화막이 유입되지 않도록 하기 위해 적절한 범위와 연구가 필요하다.

2.7.4. 실용예 와 응용예

반응고가공법을 적용할 때에는 품질면 및 경제성에서 평가해야 한다. 반응고가공공정은 가압주조법과 함께 고품질 제품을 경제적으로 제조할 수 있다. 따라서 자동차용, 항공기용, 가전용 등 강도 혹은 내압성, 신뢰성이 요구되는 양산 부품에 적용되고 있다. 합금계는 거의 주조성이 우수한 AlSiMg합금이 사용되고 있다.

2.7.4.1. 알루미늄휠

알루미늄휠은 자동차의 경량화, 패션화의 흐름 속에서 착실하게 그수요를 신장시키고 있다. 중력주조법, 가압주조법, 단조법 등에 의해 제조되고 있는데 반응고가공법의 적용예에서는 강도가 높고 불균일성이 적다. 또 박화와 함께 세부까지 성형할 수 있기 때문에 알루미늄휠 상품의 디자인 자유도가 커진다. 따라서 반응고가공 특징을 살린 설계를 하면 15~30%의 경량화가 가능하다고 한다.

2.7.4.2. 브레이크 마스터실린더

브레이크 마스터실린더나 연료레일과 같이 가늘고 길게 중공을 가지는 부품은 식소캐스트법이 적절하다. 내압부품은 통상 전체를 모두 검사하는데 내부품질이 우수하기 때문에 결함불량율을 대폭 절감할 수 있다.

2.7.4.3. 복합재

입자 혹은 섬유를 분산시킨 복합재의 제조법으로는 컨포캐스트라고 불리는 용탕주조법 혹은 분말야금법이 있는데 복합재는 가공성이 나쁘며 성형가공도 있어 저렴한 제조방법이 요망되고 있다. 반응고가공법은 고액공존영역에서 혼합 및 교반할 수 있으며 또 니어넷성형이 가능하기 때문에 복합재료의 적용을 충분히 기대할 수 있다. 즉 용탕법에서 입자나 섬유를 균일하게 분산시키기 위해서는 이들과 용탕과의 함침성을 개선하고 또 응집, 분리를 방지하는 것이 중요하다. 반응고가공법에서는 용탕 중에 이미 고체결정입자가 존재하고 용탕의 점도가 높아 혼합, 분산이라는 면에서는 유리한 상황이다. 입자분산형 복합재에 있어서 입자는 미세할수록 유리한데 $1\mu\text{m}$ 정도가 되면 입자무리가 잘 응집하게 되지만 입자와 함께 혼입한 가스가 잘 빠져나가지 않는다. 이것을 해결하는 방법으로 반응고상태에 교반하면서 첨가한 용탕을 재가열하면 가스는 빠져나가고 입자는 균일하게 분산하게 된다. 그러나 통상은 이들 입자는 매트릭스입계에 존재하지만 일단 용해시킨 뒤 냉각하면 매트릭스가 이들입자를 핵으로 해서 응고하기 때문에 복합입자를 입자 내에 넣는 형태가 되며 결정립도 미세하게 된다. 복합입자가 가늘어지면, 피삭성도 개선된다.

2.8. 원심주조

원심주조법은 회전에 의한 관성력을 이용하여 용탕을 주형속에 주입하는 방법이다. 종류로서는 진원심주조, 반원심주조, 센트리퓨징등 3가지가 있다. 진원심주조는 파이프, 포신, 가로등과 같은 중공형 실린더 모양의 제품을 생산하고, 반원심주조는 바퀴같은 축대형모양을 생산하며, 센트리퓨징 주조는 형상에 비교적 제한이 없다. 이러한 원심주조법은 대형원형제품 주조에 적합하며, 좋은 품질을 기대할 수 있고, 생산속도도 높으나 주형비용이 비싼편이다.

2.9. 정밀주조법

2.9.1. 개요

정밀주조법은 다른 주조법보다 치수정도가 높고 주물표면이 매끄럽고 또 기계가공과 비교해서 복잡한 형상의 것이 일체로 용이하게 제작할 수 있으며 사용목적에 훨씬 가까운 니어넷형상의 소형재를 제공할 수 있는 주조법이다.정밀주조법에는 다음과 같이 세 종류가 있다.

2.9.1.1. 인베스트먼트주조(로스트왁스)

정밀주조법의 대표적인 방법이며 전체 정밀주조품 생산량의 80%이상, 생산금액의 90%이상을 차지하고 있다.특수내열합금에서 알루미늄합금까지 모든 재료에 적용할 수 있다. 수g에서 수십kg까지로 항공기, 원자로, 기계, 자동차 등의 복잡한 형상제품에 적합하고 대량생산 및 자동화에 의한 원가절감을 조건으로 한다.

2.9.1.2. 세라믹셀몰드(쇼프로세서, 유니캐스트)

주철, 강철, 동합금 등에 의한 금형 및 기계부품 등 수kg부터 수톤까지 비교적 대형의 소량생산 정밀주조품 생산에 적합하다.일부 알루미늄합금의 주조에도 이용되고 있다.

2.9.1.3. 석고주조(plaster mold법이라고도 한다)

알루미늄합금, 아연합금, 마그네슘합금, 일부 동합금 등 용탕주입온도 1473k(1200°C)이하의 합금으로 한정된다.수백g부터 수십kg까지의 금형이나 항공기, 자동차, 산업기계 부품 등 복잡한 형상, 얇은 제품의 비철합금, 비양산 정밀주조품의생산에 적합하다.이상을 종합하면 알루미늄합금의 정밀주조에 적합한 주조법으로는 인베스트먼트주조법과 석고주조법 두 가지를 들 수 있으며 분항에서는 이 두 방법에 관해 그 내용을 소개하고자 한다.이 외에도 알루미늄합금의 주조에 사용되는 다이캐스팅, 금형주조, 셀몰드 등의 주조법이 있어 사형주물과 비교해서 치수정도가높은 주물을 얻을 수 있으나 엄밀한 의미에서의 정밀주조법의 범주에는 포함되지 않는다.

2.9.2. 인베스트먼트 주조(investment casting)

인베스트먼트주조법에서는 왁스모형(왁스패턴)의 사출성형시 분할목형 혹은 복수조합 금형을 사용하는데 조형시에는 모형을 풀고 형빠기를 하거나 형빠기를 한 후 금형맞추기를 하는 것이 아니므로 치수정도면에서 우수하다는 것이 특징이다.인베스트먼트 주조법에는 왁스모형의 주위를 내화물 슬러리를 반복코팅해서 조형하는 세라믹셀몰드법과, 왁스모형을 내화물 슬러리로 매몰해서 조형하는 솔리드몰드법(블록몰드법)이 있는데 공업제품의 주조는 거의 세라믹셀몰드법에서 행해지고 있다.단 알루미늄합금에 관해서는 솔리드몰드법에 있어서 내화물 슬러리 대신 주형용 석고를 사용해서 매몰하는 방법도 많이 이용되고있으며 이에 관해서는 석고주조법에서 설명하겠다.

2.9.2.1. 왁스모형 제작

알루미늄합금제 금형에 파라핀 수지 등과 필러혼합왁스를 압력 327~353k(50~80°C),0.98~4.9MPa(10~50kgf/cm²)에서 분사기로사출성형한다. 중공이나 형상이 복잡한 제품에 있어서 통상적인 인베스트먼트에서는 세라믹중자를 사용한다.그러나 알루미늄합금의 경우는 주조 후 굳어버린 세라믹중자를 제거하는 것은 매우곤란하므로 중자에 상당하는 부분에 별도 성형의 에틸렌그리콜을 주성분으로 하는 수용성 중자를 금형으로 세트해서 왁스를 사출성형하고 성형·냉각 후 수중에 수시간 담귀 용해분리시키고 왁스모형에 중공부나 복잡한 오목부분을 만든다.이와 같이 성형한 모형을 1~수십개의 용탕용 왁스모형에 붙이고 클러스터를 조립한다.

2.9.2.2. 세라믹셀몰드의 조형작업

코팅작업은 매우 번거로운 공정인데 로봇에 의한 자동화가 제법 진행되어 있다. 아교질 규토 또는 에틸 규산염 가수분해액에 지르콘, 전용알루미나, 용융실리카 등의 내화물미분을 가한 슬러리에 조립한 클러스터를 침지하고 지르콘샌드나 소성지르콘, 전용알루미나립, 용융규토립 등을 뿌려 샌딩한다. 건조 후 다시 침지와 샌딩을 하고 이것을 6~7회 이상 반복 코팅하고 마지막층은 침지만 한다. 코팅간격(건조시간)은 온도 294~296k(21~23°C), 습도 50~65%인 실내에서 아교질 규토 슬러리에서는 2.0~2.5hr, 에틸규산염 슬러리에서는 1.0~1.5hr이 보편적이다. 세라믹셀의 두께는 5~15mm이며 코팅에 필요한 작업시간은 10~20hr이다. 이 시간을 단축하기 위해 래피드셀법(강제통풍, 암모니아젤화, 산성과 염기성 양 바인더의 교호작용에 의한 젤화 등)도 행해지고 있다. 세라믹셀몰드에 의한 알루미늄합금의 정밀주조에서는 특히 탈사할 때 주조품의 변형이나 표면에 흠이 발생하는 것을 방지하기 위해 주형의 붕괴성을 잘 해두어야 한다. 때문에 소성강도가 그다지 높지 않은 내화물(용융규토)을 사용하거나 또 가능한 한 강도가 낮은 바인더를 사용하는 방안도 연구되고 있으며 워터제트(물분사)로 특히 중자부분의 탈사도 가능하게 되었다.

2.9.2.3. 탈왁스

오토클레이브탈왁스, 588kPa(6kgf/cm²), 10min)가 일반화되어 왔다. 열충격, 비등수에 의한 방법도 있다. 세라믹셀에 적절한 강도가 있고 왁스모형 전체가 가열팽창하기 전에 표면이 용융유출하면 세라믹셀이 변형하거나 균열이 발생하는 일 없이 치수정도가 유지된다.

2.9.2.4. 소성

탈왁스를 종료한 세라믹셀은 973~1273k(700~1000°C)의 가열로에 넣어 20~60min 소성하고 내화물 골재나 바인더의 열처리, 잔류왁스의 연소제거가 행해진다. 철계 합금에서는 소성온도 그대로 주조되는 경우가 많은데 알루미늄합금에서는 소성 후 473~773k(200~500°C)까지 냉각해서 주조한다.

2.9.2.5. 주조

대기용해-대기주조, 진공용해-진공주조, 반전가압, CLA법, CLV법 등 재질의 특성 요구에 따른 주조방법을 취할 수 있다. 후술할 석고주조법과 마찬가지로 주형 내에서의 용탕 응고속도가 지연되므로 알루미늄합금에서는 특히 함유가스량을 낮추는 용탕처리가 중요하다. 용탕 중의 가스량은 0.15cc/100g(0.134ppm)이하로 하는 것이 바람직하다.

2.9.2.6. 후처리 및 검사

탈사는 뉴매틱헤머, 쇼트블라스트, 샌드블라스트 등에 의한 건식법과 4.9~19.6MPa(50~200kgf/cm²)의 고압 워터제트에 의한 습식법이 있다. 철계 정밀주조품과 같이 773k(500°C)의 용융가성소다염에서의 탈사는 불가능하다. 탈사가 전혀 불가능한 형상의 제품일 때는 석고주조법을 채용하도록 한다. 주조품은 육안검사 후 필요에 따라 열처리를 하고 침투탐상검사, 형광탐상검사, X선투과검사, 치수검사 등을 받고 출하된다. 검사는 일반 주물보다 엄격하다.

2.9.3. 석고주조법(plaster mold process)

석고주조법은 알파형 반수석고를 주성분으로 하고 이에 내화물필러 외의 첨가물을 배합한 주형용 석고로 조형한다. 석고의 수화응결을 이용한 조형품으로 오래 전부터 치과나 장신구 분야에서는 수g에서 수십g까지의 금·은합금의 인베스트먼트주조용 왁스형이 매몰재로 이용되어 왔는데 수백g에서 수백kg에 이르는 공업제품의 정밀주조로서의 역사는 아직 50년까지는 미치지 못했다. 석고주조법은 아연합금, 알루미늄합금, 마그네슘합금, 일부 동합금 등의 비철금속의 공업제품 주조에 사용되며 특히 알루미늄합금의 정밀주조가 그 주류를 이루고 있다. 주물표면과 치수의 정도가 좋고 주형의 열전도가 낮기 때문에 얇은 제품을 주조할 수 있으며 또 주조 후의 탈사가 용이하다. 표면이 복잡한 고무 및 플라스틱의 성형용금형, 산업용 기계, 자동차용 흡기축 임펠러·전기기기의 부품, 다이캐스팅의 시험제작품의 주조 등에 이용되고 있다. 철계합금은 석고가 고온에서는 열분해를 일으키므로 주조는 불가능하다. 석고주조법에 사용하는 주형용 석고에는 3종류가 있다.

- 1.비발포석고(강도는 높지만 통기성은 거의 없다),
- 2.발포석고(통기성은 있지만 강도는 그다지 높지 않다)
- 3.매몰용석고(인베스트먼트주조용)

내화물필러, 첨가물 등 모두 배합이 완료된 것이 주형용 석고로 석고 제조업체에서 시판되고 있으며 상사가 해외에서 수입·판매하고 있다.

2.9.3.1. 비발포 석고주형

기본적인 금형용석고의 취급법은 발포석고, 매몰용석고와 공통점이 많다.

(1) 모형제작

도면을 토대로 파팅라인에서 분할된 목형, 금형이 사용되는데 모형까지의 공정은 원형에서 자형-웅형의 전사가 용이하므로 다소역구배 제품에서도 코어 없이 조형할 수 있는 고무형(실리콘고무, 다황화고무)의 주형을 상정한 것이다.

고무형은 주형분리가 양호하고 석고주조법에서는 빈번하게 사용되어 중요한 형재라 할수있다.

(2) 주형용 석고조형

모형에 이형제를 도포한다. 용기에 소정량의 물(석고중량의 40~50%, 수온293k(20°C)전후의 상수)를 넣고, 측량한 주형용 석고를 산포및투입해서 정치하고, 교반해서 크림상태의 슬러리로 만든다. 시간은 일반적인 소요시간으로 수화응결반응은 산포 및 투입부터 시작해 산포투입시점에서의 시간관리가 필요하다.혼수량, 교반시간 등은 제조업체의 지시에 따른다. 교반봉을 이용한 수동교반, 300~500rpm인 2~3장의 날개를 이용한 기계교반에 의한다.또 필요에 따라 진공교반 또는 진공탈포 처리도 한다.

(3) 슬러리의 주입에서 이형까지

슬러리는 5~8min이내에 충분한 유동성을 유지하고 모형의 세부나들의 모서리부에 유입한다.보조적인 수필을 사용하거나 진동이 효과적이며 모형표면만 스프레이층으로 슬러리를 블로몰드하는 방법도 있다.중요한 것은 모형에 접하는 석고주형 표면의 기포발생을 최대한 방지하는 것이다.주입한 슬러리는 유동성을 상실하고 응결개시(점성증가)와 함께 온도가 상승하고 최고(303~323k(30~50°C))가 되는 점이 응결의 종결점이며 이형이 가능해진다.석고의 산포투입 개시부터 30~60min이다. 이형시 석고주형과 모형, 거푸집의 극간에 압축공기(493~588kPa(5~6kgf/cm²))를 블로우주조에 의해 용이하게 이형할 수 있다.

(4) 건조

석고주조법의 전공정 중에서 가장 많은 시간을 요하며 이형을 용이하게 할 수 있다.석고주형의 최종 건조온도는 통상 493~503k(220~230°C)이며 석고를 무수상태로 해서 주조시의 날림이나 용탕흐름 불량을 방지한다.일반적으로 열풍 강제순환배풍식 전기로가 많이 사용되고 있다.석고주형은 ①잉여수의 증발 ②수화응결한 2수석고에서 반수석고로 ③반수석고에서 무수석고로 탈수해 가는 과정 모두 흡열반응이므로 주형중심부의 온도를 측정하여 건조로의 설정온도와 일치한 시점에서 흡열반응이 종료되고 무수가 되었다고 판단할 수 있다. 소요시간은 20~40hr이다.

(5) 주조

석고금형은 노내에서 353~473k(80~200°C)까지 온도를 내리고 나서 빼고 조립한 즉시 주조한다.실온에 방치해 두면 석고주형의 재흡습이 일어나므로 피한다.비발포석고는 통기도가 거의 없는데 탕구부에서의 가압주조나 감압주조를 이용하면 효과적이다. 석고주형은 보온성이 좋고 가압·감압을 이용해서 1.0~1.5mm의 얇은 주조도 가능한데 응고시간이 길고, 핀홀 발생, 결정립 조대화, 응고결함, 치수정도저하 등의 원인이 되므로 될수 있는 한 주형온도와 용탕주입온도 모두 저하시키는 것이 중요하다.

(6) 후처리

인베스트먼트주조법과는 달리 타사는 뉴매틱헤머나 저압 워터제트에서 용이하며 제품을 흠없이 빼낼 수 있다는 것이 석고주조법의 큰 특징이다. 응고속도가 늦기 때문에 주조변형은 매우 적지만 빼낸 후 탕구나 압탕 절단시 변형하지 않도록 주의해야 한다. 표면이 매끄럽고 주물상태 그대로 사용되는 경우도 많은데 요구에 따라 샌드블라스트, 글라스 비즈블라스트로 배깅질처럼 되는 경우도 있다.

발포석고는 비발포석고에 비해 혼수량이 많고 활성제를 포함하므로 고무제 원판을 고속회전시켜 교반함으로써 공기가 혼입되어 발포증량한 슬러리를 만들고 용탕주입, 응결경화, 건조를 거쳐 통기성 있는 주형이 완성된다. 원판취급법은 미세한 기포가 균일하게 분포한 슬러리가 이상적이다. 모형에 접한 면은 치밀한 표면을 얻을 수 있는데 각부, 요철부 등의 구석구석까지 슬러리를 충전하기 위한 수필사용이나 주입시의 진동도 효과적이다. 스프레이충은 사용할 수 없다. 통기성이 있는 주형이므로 특수한 주조법은 필요없다. 교반장치와 건조로가 있으면 채용할 수 있는 간편한 정밀주조법이다. 다량의 기포를 함유하므로 주형의 보온성이 높고 비발포석고보다 더 많은 응고 시간이 걸리며 수축결함이 발생하기 쉽다. 주조방안, 주형온도, 용탕처리, 주입온도에 대해 고려해야 한다.

2.9.3.2. 매몰용 석고주형

앞에 이어서 주형용 석고에서는 코팅할 수 없으므로 인베스트먼트주조법이라 해도 솔리드몰드법에 한정된다. 왁스모형의 제작에는 수량, 형상, 정도 등에 따라 금형, 수지형이 사용된다. 이 왁스형을 탕구, 탕도와 조립해서 스테인레스 강제의 거푸집(원통형의 경우 플라스크라 한다) 내에 세트한다. 매몰용석고의 혼수량은 30~45%이며 3~4min 수동교반 또는 기계교반 후 진공탈포하고 슬러리를 거푸집 내에 주입하고 다시 진공탈포로 석고슬러리를 거푸집과 왁스모형 사이의 기포를 제거한다. 지금까지의 작업에서는 석고슬러리의 유동성을 유지시켜야 하므로 매몰용 석고의 수화응결시간이 길어지도록 조절하고 응결의 종결점은 석고투입 후 60~90min이다. 매몰 후 2hr 이상 경과한 뒤 100~150°C에서 몇시간 유지하다가 탈왁스하고 서서히 승온해 700~800°C의 소성온도에서 12hr 전후 유지하고 잔존왁스를 완전히 연소시킨다. 소성 후 주형을 노내에서 300~500°C까지 서랭하고 감압(흡인), 가압, 원심 등의 방법에 의해 주조한다.

2.10. 금형제작

2.10.1. 다이캐스팅용 금형

2.10.1.1. 금형의 구조

다이캐스팅용 금형은 직접조각형, 끼워넣기형, 공통주형, 유닛형으로 구분된다. 직접조각형은 금형전체가 열간금형용 합금공구강으로 구성되며 소형에 한정된다. 끼워넣기형은 틀조각된 중자를 주강 또는 구상흑연주철의 면형속으로 삽입해서 사용한다. 끼워넣기형은,

- (1) 캐비티부의 중자부분만을 합금공구강으로 하면 되고 재료비를 절약할 수 있다.
- (2) 주형의 열처리시 중자만 다듬질해서 변형을 적게 한다.
- (3) 형가공이 적다.
- (4) 금형갱신시 중자만 갱신할 수 있어 경비가 저렴하다.

등의 특징이 있으며 가장 많이 채용되고 있다. 공통주형은 복수의 유사형상 금형일 경우 주형을 공통으로 해서 중자만 교체해서 사용하는 금형이다. 유닛형은 중형을 다이캐스팅머신에 설치한 그대로 압출기구 냉각수관 등을 개별적으로 가지는 조각형을 단시간에 바꿔넣도록 설계된 금형구조이다.

2.10.1.2. 금형의 설계

(1) 금형의 분할면

금형의 분할면은 가동형과 고정형의 맞춤면으로 광의로 말하자면 중자의 맞춤면이라고도 한다. 가동형과 고정형의 맞춤면이 주요 분할면이 되지만 일반적으로 주물의 최대 투영면적부분으로 하는 경우도 많다. 분할면을 취하는 방법에 따라 용탕주입, 가스빼기, 탕구, 주물바리 등의 후가공, 외관, 치수정도, 제조의 품질, 금형가공 등에 영향을 미치도록 금형설계의 시점에서 충분한 검토를 해야 한다.

(2) 중자

복잡한 형상의 주물에서 가동형과 고정형의 형이 열리는 방향만에서는 빼기구배로 취출되지 않을 경우 중자를 사용해서 성형한다. 중자에는 주조의 형개방때마다 이동하는 슬라이드가동중자, 형이 열릴경우 제품에 중자가 남은 상태에서 형에서 취출되어 그후에 기계적으로 중자를 취출하는 금속개재중자, 진동 혹은 가열에 의해 취출되는 붕괴성 모래중자, 용융금속중자 등이 있다.

(3) 탕구방안

탕구방안은 주형분할면에 따라 설계되며 탕구, 탕도, 오버플로, 벤트홀이 있다. 탕도는 용탕을 캐비티에 충전할 때 가능한 용탕난류를 일으키지 않는 현상, 용탕의 주입방향, 복수탕도의 경우 용탕의 배분 등을 고려해야 한다. 최근에는 컴퓨터 시뮬레이션에서 탕도, 탕주입 분석도 이루어지고 있다. 탕구위치, 형상은 캐비티로의 용탕충전, 용탕압력전파 등 다이캐스팅의 품질에 큰 영향을 미침과 동시에 제품의 크기, 두께, 탕구제거, 후가공 등을 고려해서 결정해야 한다. 탕구 단면적 α 는 다음 식에서 구할 수 있다.

$$\alpha = Q / (Vg \times t)$$

Q는 오버플로를 포함하는 다이캐스팅 캐비티부의 용적, Vg는 용탕의 탕구속도로 35~60m/s, t는 충전 시간이며 제품두께에 따라 달라지는데 0.02~0.12s의 범위를 참고로 계산된다. 탕구의 두께는 제품의 크기, 두께, 탕구의 제거방법 등에 따라 크게 제약을 받는데 통상 0.6~3.5mm의 범위이다. 오버플로는

1. 오염된 용탕응집
2. 가스배출효과 도모
3. 가스배출구로 들어오는 용탕의 유속을 저하시키고 금형 밖으로의 용탕비산을 방지
4. 금형의 보온 등 형온제어 등을 목적으로 한다.

가스빼기는 용탕이 캐비티 안으로 충전될 때 사출슬리브, 탕도, 캐비티 내의 공기 유입, 슬리브 윤활제, 이형제 등에서 발생하는 가스를 배출시키기 위해 설치되었다. 오버플로, 가스빼기의 위치는 주물형상, 금형 구조, 주조조건 등에 따라 달라지지만 일반적으로는 용탕이 마지막으로 충전되는 장소, 공기유입 캐비티가 많이 발생할 우려가 있는 장소 등에 둔다. 또한 적극적으로 가스빼기를 하는 방식은 대기해방 진공흡인에 의한 칠가스빼기방식, GF방식, RSV방식, 혹은 슈퍼백방식 등도 있다.

(4) 제품압출

용탕이 캐비티 내에 충전되어 응고한 뒤 주형이 열릴 때 가동측에 남은 제품은 압출핀으로 압출된다. 압출핀 지름의 크기, 개수, 배치는 제품이 주형에 남거나 변형하지 않도록 균등하게 압출되도록 결정해야 한다.

(5) 빼기구배

용탕이 캐비티에 충전되고 응고·냉각에 의해 제품부가 수축되고 금형에서 이형하기 쉽도록 하기 위해 금형의 분할면에 대해 수직방향의 벽에 경사를 줘야 한다. 이 경사를 빼기구배라 한다.

(6) 수축값

기타 주조법에 의한 주물과 마찬가지로 다이캐스팅 금형의 경우도 금형의 열팽창량, 주물의 냉각·응고에 의한 수축량 등을 미리 형상치수에 집어넣기 위해 수축값을 설정해야 한다. 수축값은 금형, 주입재료의 열팽창계수, 주입 전과 제품취출시의 금형온도, 주입재료의 응고개시 온도, 제품취출 온도 등에 따라 결정된다. 알루미늄 다이캐스팅의 경우 일반적으로는 5/1000~7/1000이 적용되며 두께가 얇은 제품, 열팽창계수가 작은 주물에는 낮은 값을, 두께가 두꺼운 제품, 열팽창계수가 큰 주물은 높은 값을 적용한다.

(7) 금형온도제어

다이캐스팅에서의 금형온도는 용탕캐비티의 충전성, 늘어붙음, 기포발생, 치수정도 등의 품질에 큰 영향을 주므로 그 온도설정은 중요하다. 금형냉각을 필요로 할 때는 내부 냉각경로를 두고 통수한 뒤 냉각한다. 또 금형을 가열해야 하는 부분에는 시드히터를 사용하거나 금형온도를 일정의 온도로 유지하기 위해 수시로 가열 혹은 냉각가능한 오일 순환방식도 있다.

2.10.1.3. 금형용 재료

직접조각형 혹은 끼워넣기형, 중자형의 코아 등의 캐비티부의 형재료는 알루미늄용탕이 고속, 고압에서 사출충전되어도 그것에 견딜만큼의 강동, 인성, 내히트체크성을 필요로 한다. 또 내용손성, 내마모성, 내템퍼링 연화저항성에 우수하며 열처리 변형이 적고 담금질성, 기계가공성이 좋아야 한다. 일반적으로는 JIS규격의 합금공구강SKD6 또는 SKD61이 많이 사용된다. 또 최근에는 코아의 내히트체크성을 향상시키기 위해 SKD61를 기본으로 개량한 특수금형재료도 사용되고 있다.

2.10.1.4. 금형가공

금형가공에는 다양한 방법이 있는데 금형의 각각의 부위, 형상, 재질, 요구되는 치수정도 등에 따라 최적 방법을 선정할 수 있다. 최근에는 NC머신의 개발, 고정도화와 함께 금형설계에서 가공까지 컴퓨터시스템을 이용한 CAD/CAM시스템이 많이 사용되고 있다. 또, 방전가공도, NC가공과 마찬가지로 니어넷세이프가공화, 단기납기화, 인력감축화 등을 위해 폭넓게 이용되고 있다.

2.10.2. 중력주조용 금형

2.10.2.1. 금형의 구조

다이캐스팅용 금형은 끼워넣기형이 많이 사용되고 있는데 중력주조용 금형은 캐비티부의 금형이 고온이 된다. 그 열변형을 방지하기 위해 직접조각형이 주류를 차지하고 있다. 오버플로, 탕구, 탕도, 압탕 등의 탕구방안도 다이캐스팅용 합금과 비교하면 크게 다르다.

2.10.2.2. 금형의 설계

(1) 금형의 분할면

중력주조용 금형은 가동형과 고정형, 혹은 양가동형으로 구성되며 복잡한 형상의 경우에는 이와 더불어 금속슬라이드 중자, 금속중자, 모래중자가 사용되고 있다. 금형의 분할면은 기본적으로는

1. 제품형상의 투영면적이 넓은 부분으로 한다
2. 형개방시 제품이 잘 빠지는 수직면에서 하며 가능한 곡면은 피한다
3. 탕구방안 및 탕구, 압탕 등의 제거방법을 고려한다
4. 높은 치수정도를 요구하는 부분은 형이 열리는 방향에 두지 않는다
5. 가공기준면은 분할선상에 두지 않는다 등을 고려해야 한다.

(2) 중자와 중자프린트

중자 가운데 주물의 언더컷부에 설치되는 금속중자, 모래중자의 경우는 중자의 위치결정 및 유지를 위해 가이드 또는 중자프린트가 있어야 한다. 금속중자는 본체의 금형에 비해 고온이므로 그 열팽창량을 고려해야 하고 모래중자도 금형에 유지할 때의 쓰러짐과 붕괴를 막기 위해 중자프린트 부분에 일정간격을 뒤야 한다.

(3) 탕구방안

오버플로, 탕구, 탕구바닥, 탕도는 기본적으로 이들의 전경로를 통해 주탕된 용탕이 난류를 일으키지 않고 조용하게 연속해서 주입되어야 한다. 게이트는 탕도를 흘러온 용탕을 캐비티부에 주입하기 위한 분배구인데 주물의 품질면, 다듬질 가공 등을 고려해서 설치된다. 또 캐비티 내에 용탕을 조용하게 주입시키기 위해 주물의 하부에서 주입하는 푸쉬업 방식도 많이 쓰이고 있다. 압탕은 주물의 상단 두꺼운 부분의 최종응고부에 설치되어 응고수축시 용탕보급의 역할을 하도록 하며 이와 함께 주형내의 배기, 금형의 보온 등 주형온도제어 등도 고려해서 결정한다.

(4) 벤트(가스빼기)

주형 내의 공기나 모래중자 등에서 발생하는 가스의 대부분은 압탕이나 금형의 분할면에서 빠진다.그러나 이것만으로는 충분하지 못한 경우가 많은데 금형의 분할면에 벤트홀을 만들거나 직접 구형 내에 벤트플러그를 삽입하거나 한다.

(5) 제품압출

금형중력주조법 금형에 있어서도 제품을 균등하게 압출하기 위해 압출핀이 만들어진다.압출핀의 위치, 지름크기, 개수는 주물의 형상이나 빼기구배를 고려해서 결정해야 한다.

(6) 빼기구배

주물이 수축하는 측의 내측벽 빼기구배는 크고 또 압탕부근도 금형의 온도가 고온이 되기 쉬우므로 기울기는 커야 한다.

(7) 수축값

수축값은 주조온도, 금형의 온도, 제품취출온도, 제품형상, 중자도 금속중자나 모래중자나에 따라 달라진다.보통 6/1000~7/1000이 사용되고 있는데 자유롭게 주물을 수축할 수 있는 부분이나 모래중자의 경우에는 7/1000~8/1000이 적용되고 있다.

(8) 금형의 국부냉각

주물이 두꺼운 부분의 냉각이나 지향성 응고 등을 위해 금형의 국부만 냉각해야 하는 경우도 있다.냉각핀방식, 압착공기 또는 물에 의한 강제냉각방식, 공재의 냉각주조방식, 냉금방식 등이 있다.

2.10.2.3. 금형용 재료

캐비티부의 형재는 반복 열충격과 용탕에 의한 침식을 받기 때문에 그것에 견딜 수 있는 재료를 선택해야 한다.생산량이 적은 경우는 주철이, 생산량이 많은 경우는 JIS규격 SKD6, 61 등의 합금공구강이 사용된다.

2.10.2.4. 금형가공

금형의 가공정도의 향상, 단기납기화가 점점 강하게 요구되고 있으며 최근에는 카피밀링, NC밀링머신 방전가공, 소프로세스 등이 채용되고 있다.그리고 CAD/CAM시스템도 도입되고 있다.

2.10.3. 저압주조용 금형

2.10.3.1. 금형의 구성

중력금형주조용 금형과 같이 직접조각형이 주류를 이루고 있다.알루미늄 용탕은 유지로에서 직접 스토크를 통해 금형의 하부에서 캐비티 내로 충전되며 금형의 윗방향에서 주탕하는중력금형주조법과는 다르다.

2.10.3.2. 금형의 설계

(1) 금형의 분할면

금형의 분할방법으로는 기본적으로 중할형 횡할형, 혹은 중횡합성형이 있다.주물형상이 복잡하고 언더컷를 가지는 경우는 금속슬라이드중자, 금속중자, 모래중자를 사용한다.분할면은 중력금형주조용 금형의 분할면과 마찬가지로 아래와같이 5가지를 고려해야 한다.

1. 곡면은 피한다
2. 가공기준면은 양분할면에 걸쳐지지 않는다
3. 주물바리의 발생방향,그 사상 가공방법을 고려한다
4. 주형 내에 알루미늄 용탕이 충전되었을 때의 배압이 잘 빠지는 면
5. 복잡하고 주머니형상일 경우 금형을 분할하고 가스빼기를 만든다

(2) 탕구방안

탕구방안은 탕구에서 먼 부분부터 응고가 시작되는 지향성이 되도록 주조품의 두꺼운 부분을 아랫방향으로 해서 그곳에 탕구를 만들어야 한다. 탕구의 수는 통상 한 개이지만 제품형상, 크기에 따라 복수가 될 수도 있다. 탕구형상, 크기에 관해서는 주탕시 난류를 일으키지 않도록 고려해야 한다.

저압주조법의 방안은 중력금형주조법에 비해 특수한 경우를 제외하고는 압탕이 없고 탕도도 없는 경우도 많으며 있다 하더라도 매우 작고 짧은 경로이며 간단한 형상이다. 기타 주조법에 비해 제품수율도 양호하다. 또 주형의 벤트는 중력금형주조법의 경우와 같이 분할면에 벤트홀을 만들거나 직접 주형 내에 가스빠기 플러그를 삽입한다.

(3) 빼기구배, 수축값

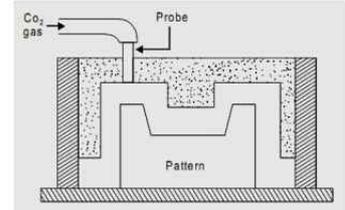
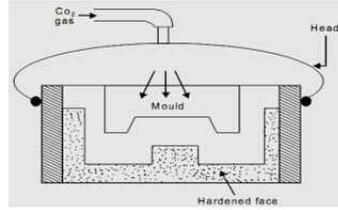
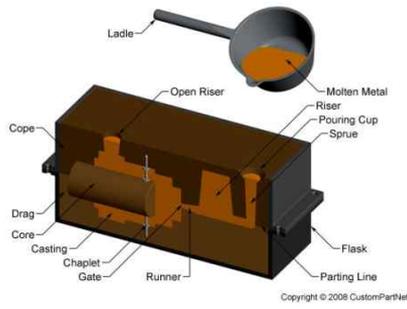
빼기구배는 본래 작은 것이 유리하지만 금형에 늘어붙음, 굽힘, 주물의 이형시 변형방지 등을 위해 중력금형주조법의 경우와 같은 기울기여야 한다. 수축값도 주물의 응고 및 수축시 금형에 구속될 경우에는 6/1000~7/1000, 자유로이 수축하는 부위, 혹은 모래중자의 경우는 7/1000~8/1000이 일반적으로 채용된다.

2.10.3.3. 금형재료 및 가공

저압주조용의 금형의 재료, 가공방법도 기본적으로는 중력금형주조법의 금형일 경우와 마찬가지로 또, CAD/CAM시스템에서도 다이캐스팅용 금형의 경우와 같이 널리 이용되고 있다. 그리고 최근에는 제품과 금형의 최적설계를 위해 CAD와 연동해서 응고해석, 탕주입해석, 응력해석, 전열해석 등 CAE이 적극적으로 도입되고 있다.



사형주조 사진

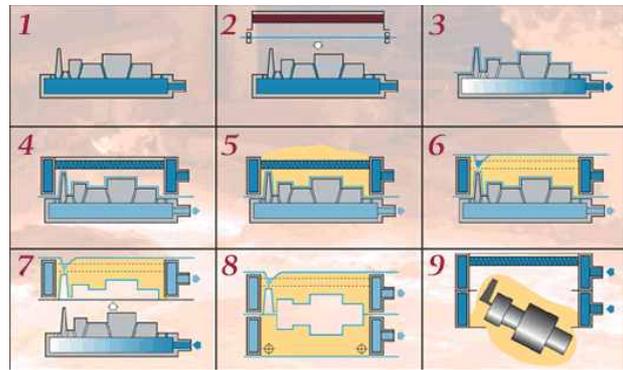


생사형주조 (Green sand casting)

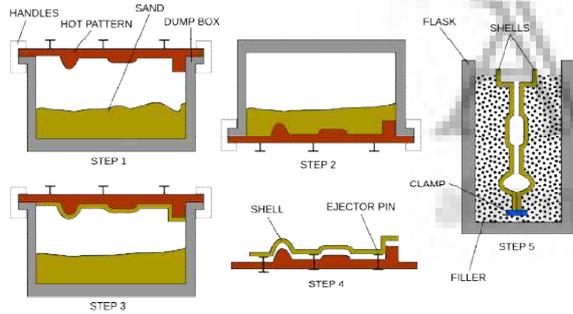
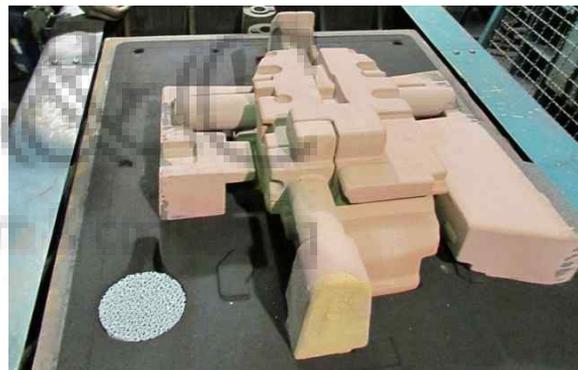


자경성주형(self-curing mold, 自硬性鑄型)

CO2 casting

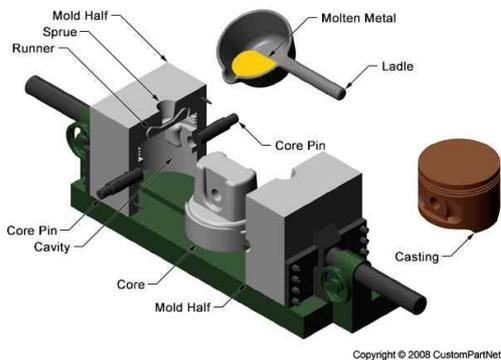


V process(vacuum sealed process)



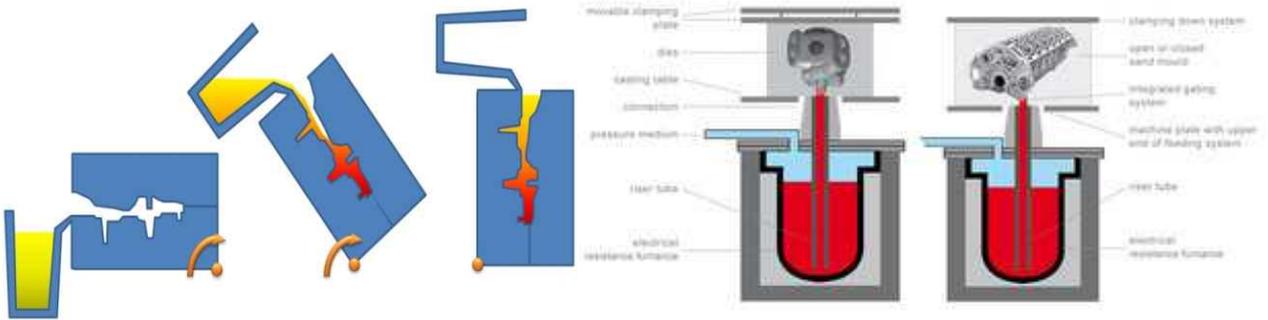
셸몰드법(shell molding process)

콜드박스법 (cold box process)



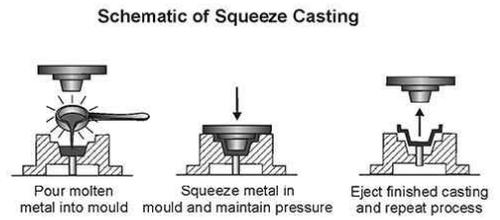
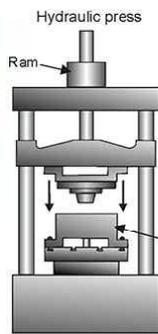
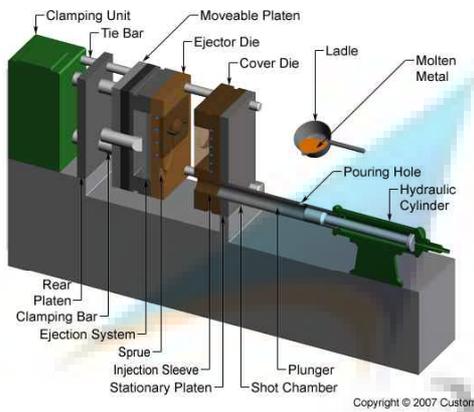
풀몰드주조(Full mold, Lost foam)

금형주조 사진



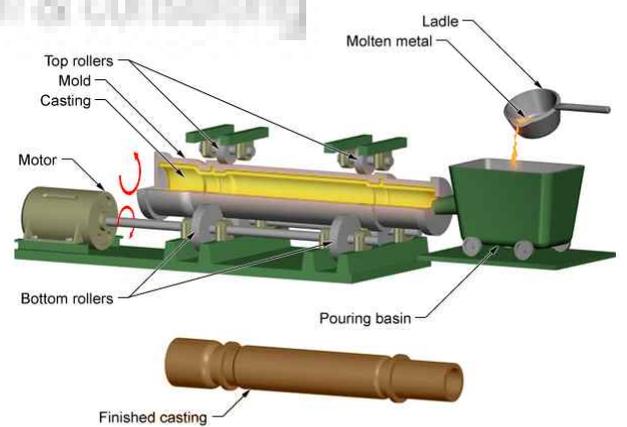
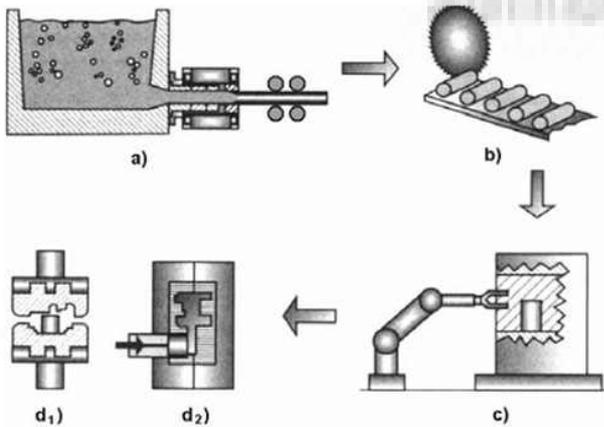
중력 주조 (gravity die casting)

저압 주조 (low pressure die casting, 低壓鑄造)



다이캐스팅 (die casting)

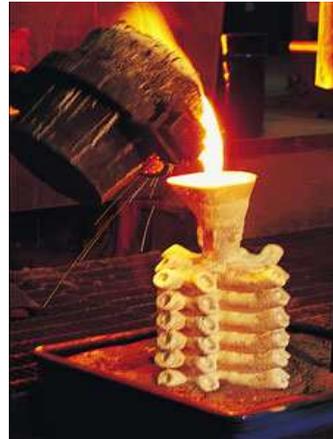
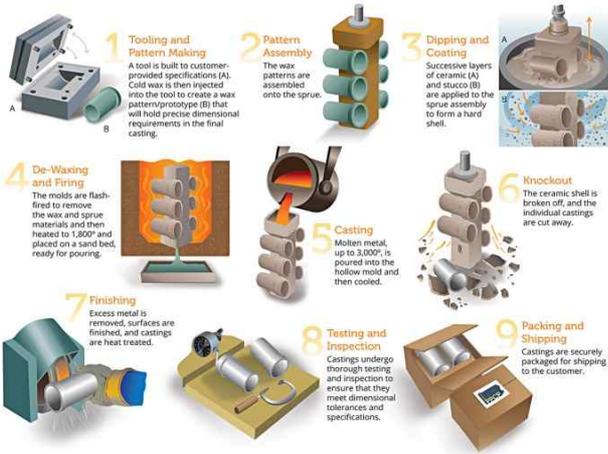
스퀴즈캐스팅 (squeeze casting)



반고상 성형법 (semi solid process)

원심주조(Centrifugal Casting Process)

정밀주조 사진



인베스트먼트주조, 로스트왁스주조 (investment casting, lost wax casting process)



세라믹셀몰드(ceramic shell mold) 쇼 프로세서 (shaw process), 유니캐스트



석고주형(plaster mold, 石膏鑄型)

비발포 석고주형
매몰용 석고주형



3. 연속주조

알루미늄 압연용잉곳 (slab), 압출용잉곳(billet)의 반연속주조(direct chill ingot casting-DC잉곳주조)는 1930년대에 공업화가 되었다. DC주조의 조직이 균일하고 가스, 기포가 적고 품질이 우수하며 생산성도 좋고 대형화도 가능하고 다양한 합금들의 주조도 가능하다 그러나 최근 더 우수한 주조법이 개발상용화 되어 점차 사라지고 있다. 그 개량기술로서는 전자장주조방식(electro slag casting)의 slab, air-slip 주조방식은 주로 soft alloy billet, hot-top 주조방식은 주로 hard alloy billet을 생산하는 추세다. 그러나 air-slip 주조방식의 더욱더 개량되어 soft alloy 와 hard alloy billet을 동시에 생산하고 있다. DC주조방식이 반연속주조방식이라면 여기에 더 나아가 연속주조방식의 개발로 인해 알루미늄 선재의 주된공정으로 자리잡고 있고, 압연분야에서도 박slab연속주조, 박판주조(strip casting, thin strip continuous casting)같이 주조후 압연등의 공정이 아니라 바로 직접제품형상을 연속주조하는 기술또한 개발되어 상용화되고 있다.

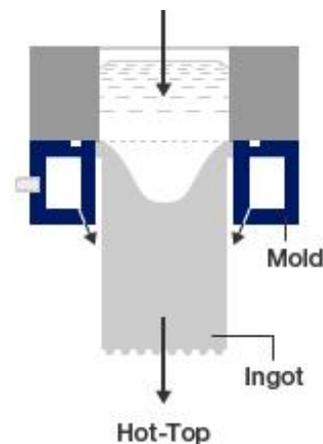
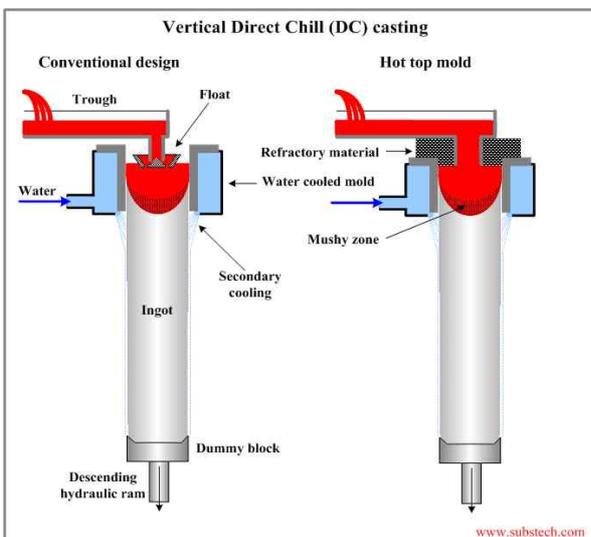
3.1. 반연속주조 종류 및 특성

3.1.1. DC(Float)주조

용탕을 주탕한후 서서히 bottom block을 하강시켜 아래 방향으로 직접 냉각수를 부가함으로써 billet을 주조한다. 용탕공급을 Down spout(수직낙수호통)에 의한 방식으로 한다. Down spout에 의한 방식의 경우 용탕 레벨은 분배 Float(표면부표)에 의해 일정하게 유지된다. 주형내 용탕은 수냉주벽의 열전도에 의한 1차 냉각에 의해 응고 외피가 형성되며, 주형아래방향에서의 직접수냉(2차냉각)에서 대부분의 응고가 일어난다. 그러므로 표면부근 DC주조의 기술혁신 및 Billet의 표면 조직을 개선하기 위해 Mold와 용탕의 접촉을 완전히 차단하던지 아니면 최소화하는 것이 개선의 주요 포인트이다.

3.1.2. DC(Hot-top)주조

Hop Top 주조법은 수냉주형 상부에 내화물재인 세더가 설치되어 있는 Mold를 사용한 방법으로 용탕은 Spout(주둥이)를 거치지 않고 수평으로 공급된다. 주조시작 당시 Float의 조정은 필요없기 때문에 동시에 연속주조를 개시하는 Billet의 경우 대폭적인 공정단축을 도모할수있다. 때문에 billet의 주조에 Hot Top 주조법이 적극적으로 채택되어 왔다. Hop Top 주조법은 공정단축 이외에 몰드길이가 짧아 주조표면을 항상 시킬수 있으며 레벨 주조에 의한 용탕 섞임이 적고 가스나 개재물의 혼입이 적다는 이점이 있다. 단점으로서 주조표면에 리플 또는 랩핑이라고 하는 역편석층이 생기기 쉽다 리플은 헤더와 몰드사이의 Air Gap의 발생으로 생성된다.

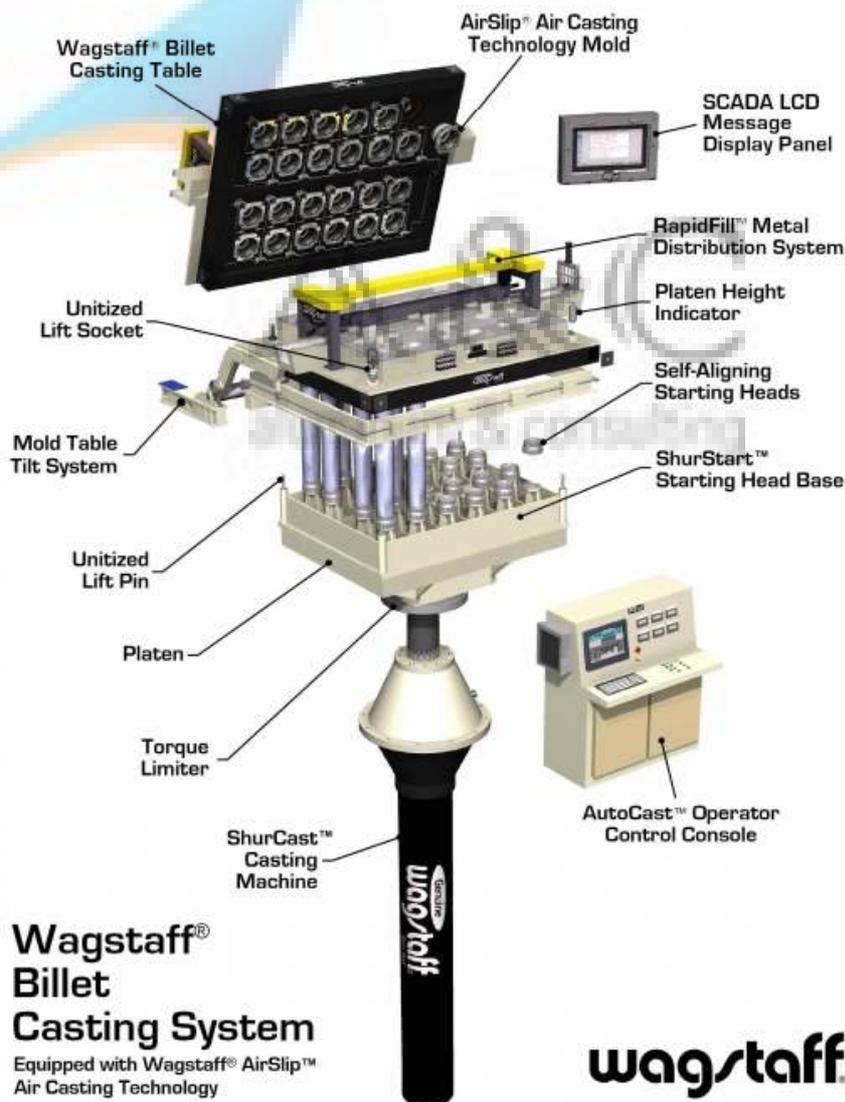


3.1.3. Air-slip 주조

다공질 흑연 몰드를 사용해 몰드내로 기체와 윤활유를 공급하는 방식이며 사워공정과 같은 실질적으로 몰드와 접촉하지 않기 때문에 매끄러운 주조표면을 얻을수있다.표면에 편석층, Chill층, 조대 Cell 층이 거의 없기 때문에 좋은 품질을 생산할수 있다.

1.9.1.4 DC 와 Air slip 주조의 비교

구 분	DC Casting	Air Slip Casting
주조방식	Spout 을 통과한 용탕은Float에 의해 용탕량조절	자동 Program에의한 주조방식으로 spout 및 Float가 없다
냉각수	물	Gas,Oil,Air물
주조속도	늦다	빠르다(최소1.5배이상)
Billet 표면 품질	편석층 및 Chill층이 형성되고 두껍다	편석층 및 Chill층의 거의없거나 얇다
이물질,산화물혼입	가능성 존재	가능성 희박
주조조직	전체적으로 불규칙한 조직	전체적으로 균일한조직
회수율	낮다	높다
투자비용	저렴	매우높다



3.1.4. 전자장 주조법(Electro magnetic casting)

종래의 DC 주조에서 수냉주형을 대신하여 용탕을 전자력으로 지지하고 하부를 직접 수냉하는 방법이 전자장주조(Electro magnetic casting-EMC) 완전한 무주형으로서 주괴표면이 매우 평활하다. 구 소련에서 개발이 시작되었고 미국, 유럽에서 실용화가 되었다. 용탕형상의 제어를 전자코일과 screen으로서 한다. 무주형의 특성상 표면이 미려하고 역편석이나 chill조직이 없다. Air slip과 같은 조직적 특성을 가진다. 따라서 전자주조주괴는 무면삭 압연이 가능하고 주괴 옆면이 양호하여 열간압연시 edge crack이 없고 trimming이 불필요하거나 최소화 된다. 전자장주조는 설비가 고가이지만 면삭이나 후공정이 최소화되고 수율이 향상되어 양산형 주조법으로 현재 생산되고 있다. 그 결과 미국에서는 5182,3004 등에 적용하여 경제적 효과를 보면서 양산이 되고 있고 다른 합금들도 속속 양산되고 있는 실정이다. 또한 고품질, 난주조성 소재에서도 효과적으로 알려 차세대 주조법으로 각광받을꺼라 여겨진다. 전자장주조에는 안정된 주조를 위하여 고도의 제어 및 계측기술이 요구되어 자동화기법의 생산설비를 갖추는것이 시급하다. 이와 유사한 주조법으로는 페니시의 CERM이 있다. 이 경우 주형을 사용하지만 주형 가까이 전자코일을 설치하여 교반을 유도하고 저수위를 유지하여 미려한 주괴 표면을 제조하며 교반에 의한 결정립 미세화로 미세화처리가 필요없는 주조기술이다.

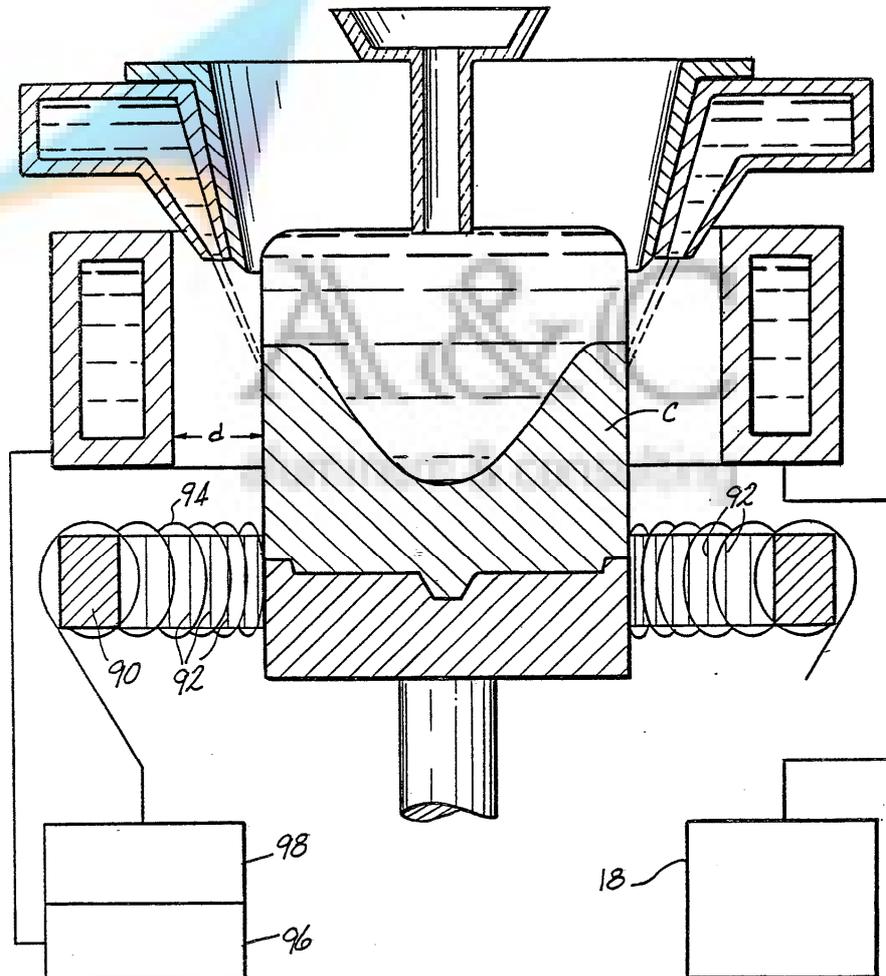


FIG-3

3.1.5. DC(Float) 주조 특징

3.1.5.1. 준비작업

작업전에 SPOUT, SPOUT마개, Float,Mold등을준비한다.분배기에 붙어있는 재 및 이물질을 완전히 제거하고 도형재를 균일하게 바른후 습기가 완전히 제거 될때까지 분배기를 예열 시킨다. 분배기를 예열 시킬때 국부적인 가열 및 예열이 균일하지 못하면 분배기의 도형재가 손상될 우려가 있으므로 주의해야한다.주조기 작동점검 및 냉각수확인받침 몰드판을 상승시켜 받침몰드에 있는 물을 완전히 제거한다.몰드를 조립하고 몰드주위에 윤활제를 균일하게 바른다.shower box 스위치를 작동시켜 냉각수를 투입시킨 후 몰드에 부딪혀 흐르는 냉각수 흐름상태를 점검한다.분배기에 spout와 Float를 조립한다. 조립후에 틈새 및 갈라진 부위에 접착제로 보수한다.분배기와 받침몰드판과의 조립이 완료되면 spout마개로 spout 구멍을 막는다.냉각수조는 냉각수 높이는 Mold 하단부에서 부터 약 1,000mm정도 유지한다.Mold높이는 약 80mm정도 Mold안에서 용탕높이는 약 50~55mm정도유지한다.

3.1.5.2. 주조작업

냉각수 공급스위치를 작동시켜 냉각수를 Mold쪽으로 보낸다.(냉각수 흐름확인)분배기 위에 용탕이 괴여서 spout 마개가 어느정도 잠길 정도가 되면 spout마개를 뺐는다 .이때부터 연속주조가 시작된다.spout 구멍을 통해 Float위로 떨어지는 용탕이 Mold안으로 점차 올라와서 float위로 올라올 때쯤 되면 운전대 위에 하감스위치를 작동시켜 구동대가 하강하도록 한다.용탕이 과도하게 mold 안에 주입되면 float위에 붙은 용탕을 제거한후 다시 spout마개를 서서히 뺐으면서 조절해준다.받침 몰드에 고인 용탕이 완전히 응고된 상태를 확인한후 주조를 시작해야한다.연속주조가 어느 정도 시작되면 주조속도 및 냉각수량을 증가시키면서 정상적 주조가 되도록한다

3.1.5.3. DC 7"Billet 주조 예 (8톤/Ch.기준)

- (1) Mold내 용탕 주입시간 : 5초이내
- (2) 주조속도 : Start(50mm)이내 20~30mm/분 , Run(정상적인 주조속도로 서서히증가)65~75mm/분
- (3) 냉각수량 : Start(50mm이내)1000,~2000/분 냉각수량은 Billet의 외접원과 주조Hole수, 주조속도 , 재질등에 의해서 크게변화 됨으로 Data에 의한 표준설정 매우 중요하다.냉각수량은 Billet의 외접원과 주조Hole수, 주조속도 , 재질등에 의해서 크게변화 됨으로 Data에 의한 표준설정 매우 중요하다.*Genera; casting water flow rate 외접원 25mm이당 3.8분 ex.)7"Bilet(178mm)x28Stremd
- (4) 냉각수온도는 10~28도가 추천되고 있으나 냉각수량과 주조속도에 연관성이 있으므로 설비와 작업 조건 등을 고려하여 표준화하여야 된다.주조온도 (분배기온도) 는 재질과 Billet Size에 따라서 다소 차이는 있겠지만 약690~730도 정도가 적정하다 주조온도가높으면 수소가스 침입이 많아지고 상대적으로 낮으면 막힘 현상이 발생됨으로 적절한 작업조건이 요구된다.

3.1.6. DC주조결함의종류

알루미늄합금의 DC Billet 조직은 일반적으로 bille표면에서 차례로 1)발한 2)chill층 3)조대cell층 4)미세 cell층으로 분류된다.표면부근이 이와 같이 복잡하게 되어있는 것은 DC주조가 몰드냉각과 직접수냉 2차 냉각으로 되기때문으로 인한 구조적인것이다.압출시 Edge Crack 및 주조균열 등을 방지하기 위해 billet 표면은 매끄러운 쪽이 유리하다. 압출표면을 향상시키기위해 billet 표면은 면삭에 의해 제거해야 하며 수율 저하의 원인이 된다.주조결함의 종류에는 cold shut(ripple),발한,눌러붙음,칠층,및,조대,셀층,부유정,산화피막말림,crack,우모상정등이 있다.

3.1.6.1. 칠(chill)층,조대 cell층

DC Billet의 표면 부근의 조직 중 칠층은 용탕과 몰드의 직접접촉에 의한 급랭역에 대응하고 조대셀층은 결정립, Dendrite, arm spacing 모두 거칠다. 이와 같은 칠층,조대셀층을 가지는 billet은 압출시 픽업및 거친 표면을 유발시키고 양극산화처리 시 줄무늬를 발생시킨다.용탕레벨이 맞을수록 칠층과 조대셀층의 두께는 얇아진다. 그러나 너무 낮아지면 cold shut이나 부유결정이 발생할 우려도 있다.

3.1.6.2. 우모상결정

우모상정의 생성을 지배하는 주요인자는 온도가 높을때 응고속도가 클때, 용탕의 섞임이 불충분할때 잘 발생한다.Al-Ti-B 결정립 미세화제의 첨가에 의해서 그의 생성을 비교적 용이하게 제어할수있다.우모상정은 기계적 성질에는 악영향을 주지않고 절삭면에 우모상정 조직이 존재하면 양극산화처리 시 힘줄모양의 표면 결함이 발생하여 미관을 손상시키는일이다.이러한 형태의 우모상정을 일반적으로 좋지않는 특성을 초래하기 때문에 결정립 미세화제의 첨가에 의해 그발생을 억제 하는것이 광범위하게 이용되고있다.

3.1.6.3. Cold Shut = Cold Welding =Ripple-Lapping=탕경

리플(Ripple) Lapping이라고도 하며 주조속도가 지연될 경우 탕면이 낮을경우,주조온도 가 낮거나 너무 높은 경우에 잘발생한다.용탕의 열용량이 감소하고 응고가 pool 부근까지 진해되어 굳고, 그 위에 용탕이 덮여 생성한다.

3.1.6.4. 부유정

부유정은 아래 사진에 나타낸 것처럼 주위의 결정립보다도 조대한 Dendrite Cell을 가진입상정이다 부유정이 존재하면 양극산화 처리시 표면에 힘줄모양이 발생한다.부유정의 생성원인은 몰드벽이나 몰드내의 용탕이 표면등으로 생성된 결정이 흩어져 용탕중으로 떠다니면서 고액계면에 도달했을때 응고가 완료되기 까지의 dendrite의 조대화가 생기기때문이다.또한 조대 cell층이 billet표면의 재용융에 의해서흩어지고 그것이 응고계면에까지 떠다니면서 응고되기 때문이다.따라서 부유정을 제어하는 것으로는 주조온도를 높이는 것, 용탕의 레벨을 낮게 하는것, 결정립 미세화제를 첨가하는것 등의 방법이있다.

3.1.6.5. Billet Butt(주조시작 부분)에 금속이 흘러내림

금속이 흘러내리는 것은 mold와 bottom mold와의 틈새로 용탕이 침투하는 것에 의해 발생된다 이것은 용탕이 너무 빠른속도로 mold 구멍으로 들어가거나 또는 용탕온도가 너무 높은 상태로 들어가는 것에 의해 발생된다.또한 탕면이 너무 낮을 경우 용탕이 흘러 내릴수있다.

3.1.6.6. Billet Crack

Billet의 균열을 크게 나누면 주조 중에 일어나는 균열 소위 열간균열 과 응고완료후 균열되는 냉간균열이 있다.Billet의 경우 중심부 균열 이 많다 중심부 균열은 응고가 완료되기 직전의 고액공존역 에서의 미세균열이 전파되는 것으로 알려져있다.중심부 균열 이외의 용탕주입 시작 부분의 butt균열,내부 균열,J균열 등이있으며 극단적인 경우 7000계열 합금이나 2000계열 합금에서는 아래에서 위로 두 동강으로 갈라질수도있다 균열의 형태는 다양하기 때문에 체계적인 보고는 많이 찾아 볼수없다. 따라서 그 대책도 균열의 유형에따라 개별적으로 마련되어져야 하는데 대체로 주조조건 특히 주조속도,냉각수조절,화학적성분 (3000계열,5000계열 Cu, 2000계열 Si,7000계열Mg,Zn,Cu,Si등) 미량원소 (Na 수소가스등) billet표면의 상태 (cold shut등) ,용탕주입초기의 주조조건 (Butt균열등), 조직의미세화와 관계하고있다.billet내부의 잔류 열응력의 발생을 적게 하는것이 중요하며 냉각조건을 조정하는것이 효과적이다. 특히 용탕주입의 시작 부분은 냉각응고조건이 복잡하게 변하는 부분이므로 용탕주입 초기의 균열은 복잡하다 주조를 시작할때의 냉각수,주조속도 등의 주조조건이외에 bottom block의 재질과형상의 영향도 매우중요하다.

3.1.7. 균질화처리

주조조직은 용질원자가 미세편석되며 billet 위치에 따른 냉각속도의 차이에 의하여 내외부의 용질원자 농도 편차가 심하여 압출가공성이 나쁘고 용체와 열처리시 고용이 불충분하고 편석물의 양이 증가하며 시효경화 열처리시 강화에 기여하는 용질원자의 양이 적어짐으로 소정의 요구되는 물리, 화학적 성질을 얻을 수 없다. 따라서 미세편석과 2차상(Second phase) 입자를 결정입내에 균일하게 즉, 수지상 간에 밀집되어 있는 합금원소 (Zn, Cu, Mg, Si 등)을 수지상 내부로 확산시켜 성분의 균일화를 일으킨다. 균질화 처리는 합금중의 2차상 입자에는 $CuAl_2$ 와 같은 주조시 완전히 용해되지 못한 비평형 2차입자와 $FeAl_3$ 와 같이 알루미늄에 고용한도 이상으로 포함될 경우 형성되는 평형 2차상 입자가 있으며 이들 2차상 입자는 주로 결정 입계에 위치하게 된다. 결정입계에 형성된 석출물($CuAl_2, FeAl_3$ 등)을 균질화 처리 시켜 결정입내로 균일하게 분산시켜야 한다. 균질처리는 보통 용융이 시작되는 온도의 밑 온도에서 실시되므로 다음의 위험성을 수반한다. 온도측정이 부정확할 때 녹을 염려가 있다.

3.1.8. 6000계열 균질화처리

일반적으로 6063에는 0.2%Fe를 함유하고 있으며, 6061에는 0.25~0.3%Fe를 함유하고 있다. 일반적으로 강화원소를 결정내로 확산 시키기 위해서는 565도 X 1hr 균질처리하면 충분하나 압출성을 저해 시키는 $AlFeSi-\beta$ 相을 비교적 압출성이 양호한 $Al-Fe-Si-\alpha$ 相으로 변태시키고 분산시키기 위해서는 580도 X 8hr 정도 균질처리하는 것이 필요하다. 6000계열 합금의 경우 billet에는 침상인 $\beta-Al_9Fe_2Si_2$ 相이 많고 이상은 단단하고 깨어지기 쉽기 때문에 압출시 pick up의 원인이 된다. 또한 알루미늄이트 처리에서도 막의 결함을 유발시키며 색조를 나쁘게 한다. 이 β 相은 균질화처리를 하면 $\alpha-Al_{12}Fe_3Si_3$ 상으로 변태하며 구형을 띤다. 또한 billet의 냉각이나 온도상승 중 정출된 Mg_2Si 가 압출시 발열로 pick up을 유발시킨다는 이야기도 있다.

Al-Fe-Si의 변화

- 1) 주조상태 : 결정립계(grain boundary, 結晶粒界)에 $AlFeSi$ 가 β 相으로 석출 (β 相 압출성을 저해한다)
- 2) 510도 x 1hr Mg_2Si 는 완전히 grain내로 고용 ($AlFeSi$ 는 변화없다.)
- 3) 565도 x 6hr $AlFeSi$ 가 β 相에서 α 相으로 변태시작
- 4) 590도 x 24hr $AlFeSi$ 가 거의 압출성이 양호한 α 相으로 변태완료

590도 x 24hr 상태가 가장 양호하나 생산 cost가 상승하므로 일반적으로 β 에서 α 변태가 어느 정도 진행된 580도 x 8hr (6063의 경우)으로 처리한다. 압출재의 표면 거칠기는 균질화처리 조건에 따라 나타난다. 일반적으로 압출재 표면 거칠기는 미세한 요철의 연속에 있고, 거칠기의 생성은 압출중 die bearing면에 Mg_2Si 입자가 부착되어 마찰에 의한 것으로 사료된다. 압출재의 표면은 Mg_2Si 입자의 증가로 거칠게 되고 균질조건에서는 균질조건이 유효한 것으로 판명되었다. 6063과 6061의 경우 강화원소는 Mg_2Si 이다. 재료가 좋은 성질을 갖기 위해서는 강화원소가 결정의 내부로 확산되어야 한다. 이를 위해서는 균질후 빌렛의 급냉이 필요하다. 만약 균질후 billet을 서냉 시키면 강화원소 grain boundary로 다시 석출되어 Size가 커지면서 나쁜 영향을 미치게 된다. 균질처리후 빌렛 냉각시 가장 좋은 방법은 Quenching 시키는 것이나, 이때는 Billet이 약간의 경화를 일으킴으로서 압출성을 저하시키므로 바람직하지 못하다. 따라서 빌렛 균질후 Fan을 이용하여 최소한 250도~300도의 속도로 냉각시키는 것이 좋다.

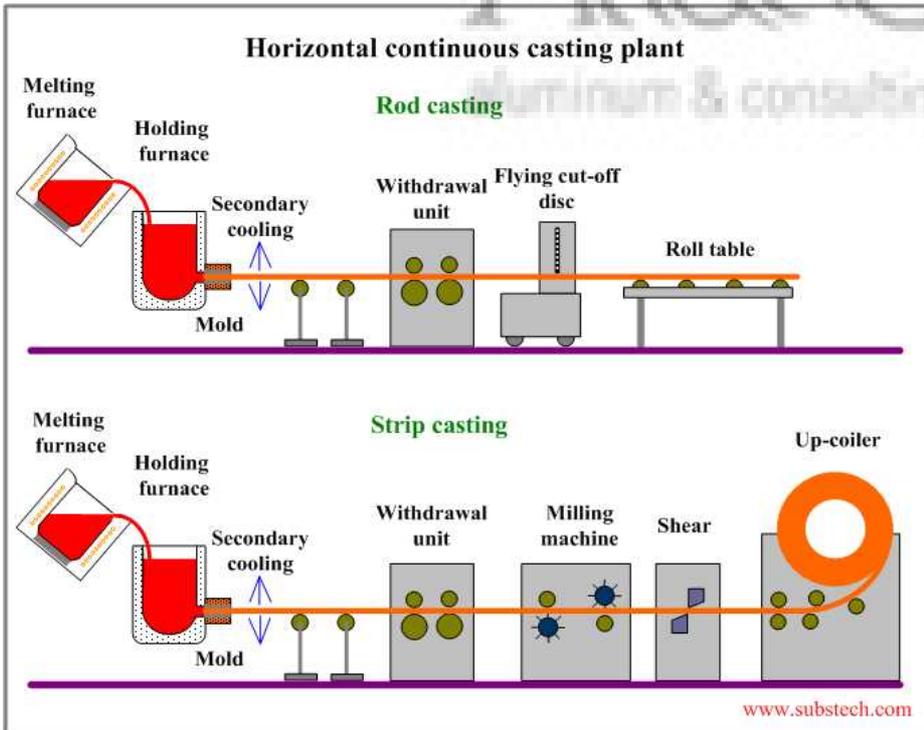
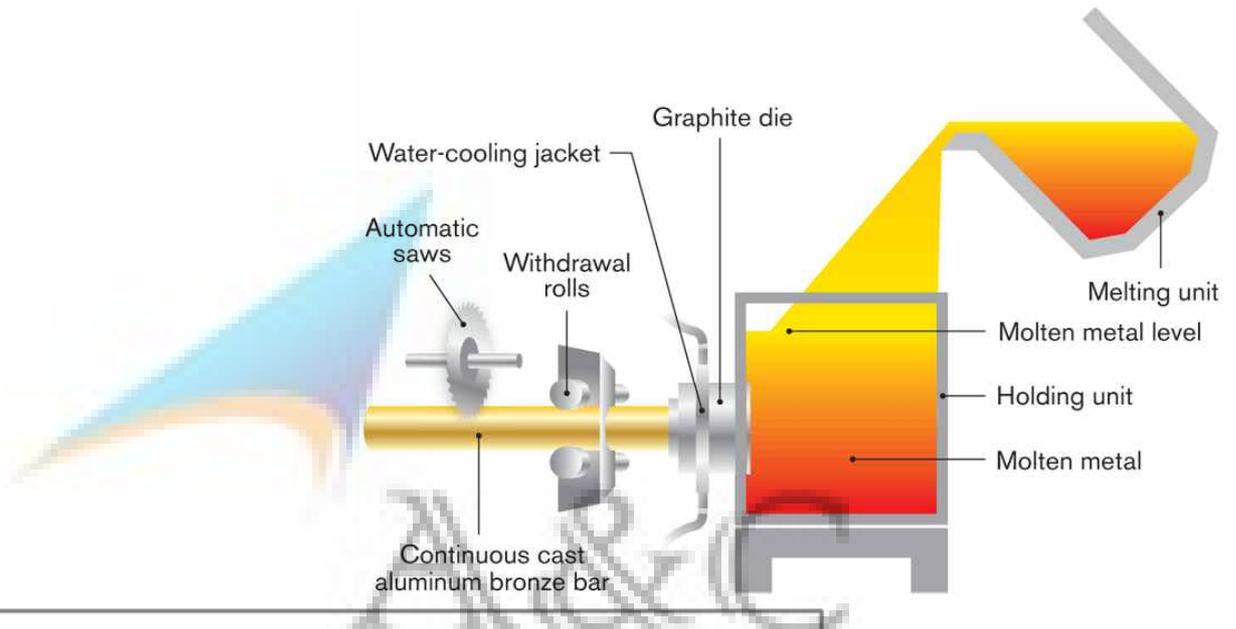
3.1.9. 알루미늄 합금별 균질조건

구분	JIS	EXTRUSION BOOK	기 타
1050	520~560도 x 4~8hr		
1070	500~540도 x 0~6hr		
1080	500~540도 x 0~6hr		580~6000도 x 6hr
1100	520~560도 x 4~8hr		
2011		420~440도 x12hr	500도 x 8hr
2014	480~510도 x 4~12hr		
2017	480~510도 x 4~12hr	480~490도x12hr	
2024	480~510도 x 4~12hr		470~490도 x 4~12hr
2218			520도 x 8hr
3003	570~610도 x 6~24hr	550~560도x12hr	600~620도 x 8~12hr
3004	500~540도 x 4~10hr		
4032	470~540도 x 4~10hr		
4043	470~540도 x 4~10hr		
5005	500~540도 x 4~10hr		510~540도x 8~12hr
5052	500~540도 x 4~10hr		510~540도x 8~12hr
5083	480~520도 x 4~10hr	520~540도x12hr	510~540도x 8~12hr
5086	480~520도 x 4~10hr		510~540도x 8~12hr
5182	480~520도 x4~10hr		510~540도x 8~12hr
6061	500~540도 x 4~10hr	570도 x8hr(Alcan)	560도 x 6hr
6063	520~560도 x 4~10hr		560~580도 x 6hr
6082		560~570도 x 6hr	
6151	500~540도 x 4~10hr		
7075 / 7475	440~470도 x 6~24hr	470~480도 x 12hr	480도 x 12hr
7178	440~470도 x 6~24hr		
7N01	450~490도 x 4~10hr		

※균질 열처리의 조건은 첨가원소의 투입량과 Bilet Size에 따라서 다르다 특히 균질로의 온도균일 유의 하여야한다.

3.1.10. 수평연속주조(horizontal continuous casting process)

반연속 DC주조는 수직형으로 주괴실 사이에 제한이 있지만 수평으로 주조시 용탕이 허락하는한 지속적인 연속주조가 가능해진다.용탕의공급,주형재료,운할방법 등이 연구과제이다.중력의 영향으로 주괴 품질에 비대칭이 되게하며 냉각수의조정,주괴표면으로 물의 분사각도 조정등도 중요하다. 이 공법은 시동횟수가 적고 생산성,보류등에서 향상이 되고,피트나 크레인이 불필요하여 설비비가 저렴해진다. 연속생산이라는 점에서 수평주조는 매력이 있으나 상하조직의 불일치,주괴품질은 DC와 비교하면 미흡하고 다품종소재 제조에 취약하다.그러나 단일소재 대량생산의 경우 짧은 수냉주형과 적절한 수냉분무처리를 적용하여 각종 알루미늄 제품이 양산되고 있고 표면품질의 개선도 함께 진행되어지고 있다.특히 세경봉 압출재의 제조에 탁월하다고 알려져 있다.

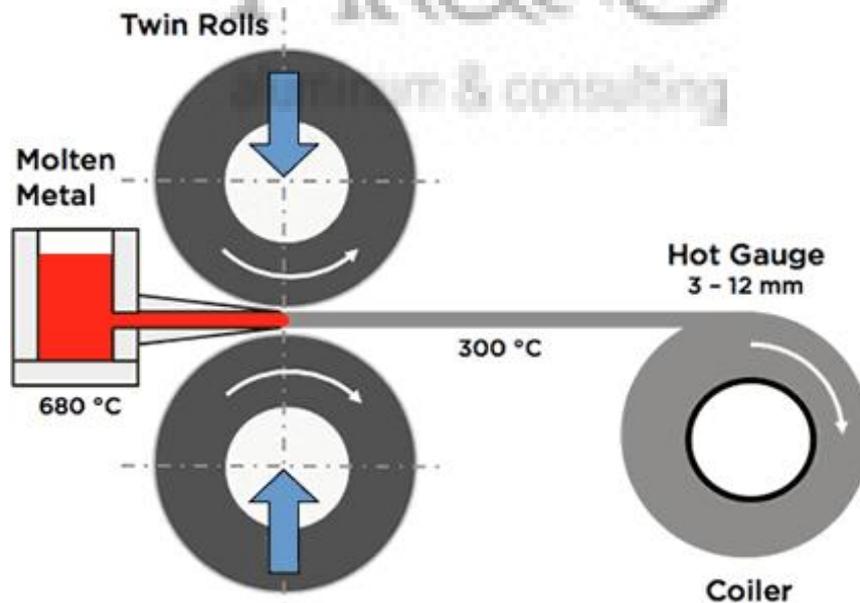


3.1.11. 압연판의 연속주조

DC주조-열연에 의한 판재제조이지만 대형열연 및 면삭, 균열로등의 초기 설비비가 많이들고 생산량이 대량인경우 적절하다. 미국 생산량의 80%가 이 방식이다. 이외 방식은 박슬래브 연속주조와 쌍롤연속박판주조가 있다. 이들 연속주조는 생산성이 다소 낮고 제조합금의 제약이 있지만 설비비가 저렴하여 Mini-mill 공장을 중심으로 보급되고 있다. 1990년대에는 박슬래브 연속주조기는 약 수십대, 박판주조기는 200여대가 가동되고 있다.

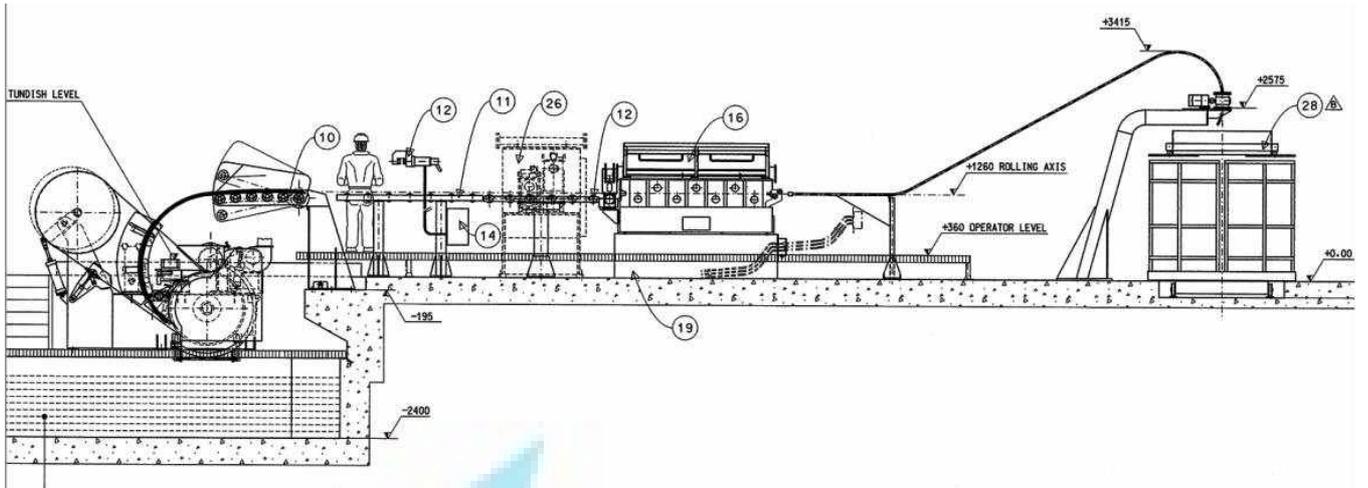
대표적인 박슬래브 연속주조기인 Hazellet사의 Twin belt caster이다. 가동 steel belt(block) 사이에 연속적으로 주조를 하고 압연기와 연동하여 연속적으로 열간압연하여 coilable 박판을 제조한다. 주조속도는 10m/min으로 12-75mm 두께의 주조가 가능하다. 보통 19mm 두께로 주조하고 열간압연은 2.5-6mm 두께로 감소시킨다. 생산능력은 1M폭의 주조기로 연간 10만톤이 된다. 주조방식의 개량으로 고합금 AL-5Mg 주조도 가능하다. 그 외 박슬래브의 주조법으로서 lauener block, alusuisse caster 등이 있다. 이들도 비슷한 주조방식으로 빌렛 대신 block을 사용하며 소량고품질의 시장에 적용되고 있으며 생산성향상과 품질개선 또한 진행되고 있다

쌍롤박판연속주조법은 용탕에서 직접열연없이 coil용 박판을 3-8톤 정도 제조하는 주조법인데 내화물 급탕노즐을 통하여 용탕이 회전하는 주냉롤 사이에 주입되고 롤사이에서 응고 압연 되어 바로 coil로 만들어진다. 이러한 주조법으로 hunter법, 3C법, lauener caster, davy mckee 쌍롤주조 등이 알려져있다. 이들원리는 거의 같으며 쌍롤주조시 약 10-25% 정도 압연이 되고 냉각속도가 매우 빨라 약 200-700K/s이다. 급속응고로 조직미세화, 용질 강제교용 등으로 판재품질은 DC 압연주조재에 비견되거나 일부는 보다 우수한 판재가 얻어지곤 한다. 설치비가 저렴하여 세계적으로 고립이 늘어나고 있으나 아직 생산성부족, 소재제약이 관건이다. 제품은 주로 호일용 소재로 사용되고 있다. 정밀제어, 박육화 및 생산성증가가 활발히 추진되고 있어 캔재료의 적용도 검토 되고있다.



3.1.12. 선재의 연속주조

선재의 연속주조 압연법으로서 SCR, CLECIM, 프로페치 등이 있다. 프로페치법으로서 외주에 홈이 난 동합금휠과 steel belt 사이에 주조기와 이어서 3방roll에 의한 연속열간압연하는 장치로 구성된다. 알루미늄 전선용 소재선을 제조하는데 활용되고 급속응고의 기능성재료 제조에 효과적이다.



June 14, 1955

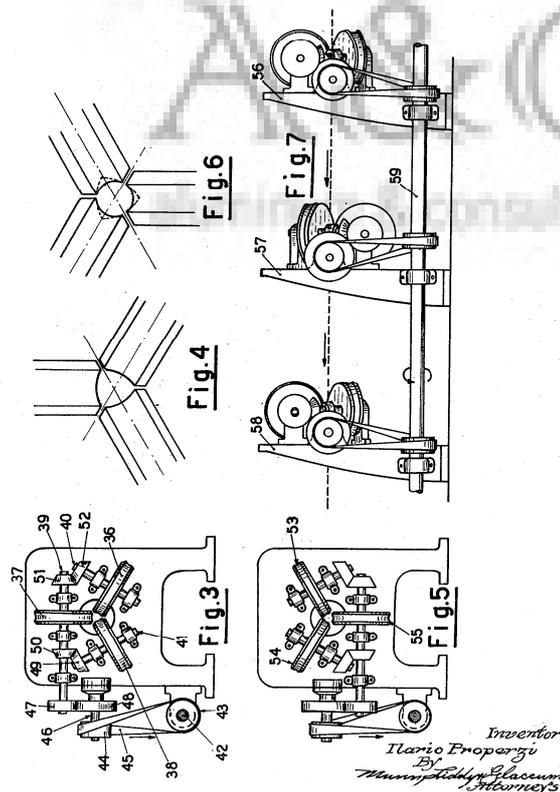
I. PROPERZI

2,710,433

CONTINUOUS METAL CASTING MACHINE

Filed Feb. 25, 1949

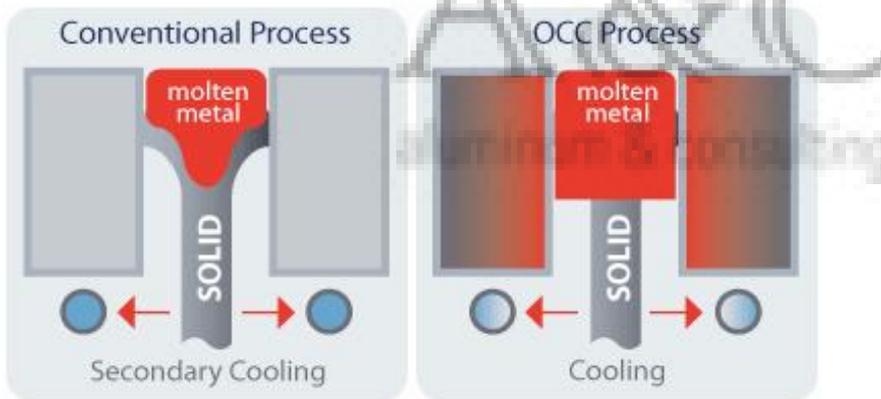
3 Sheets-Sheet 2



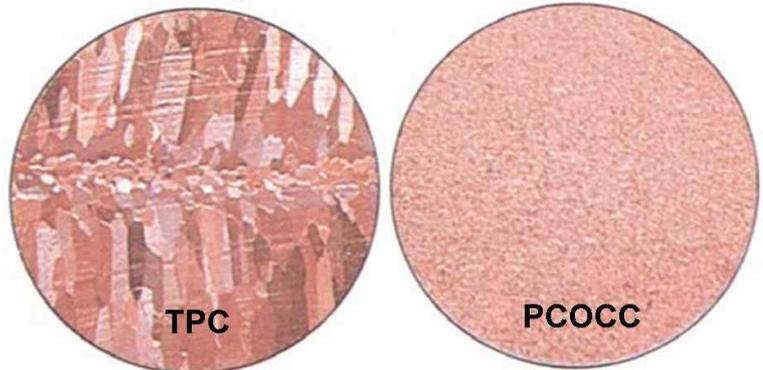
3.1.13. OCC 주조 (가열주형식 연속주조)

OCC법(Ohno Continuous Casting)은 다른 주조법에 비하여 주형을 가열하여 주조응고온도 이상으로 주형벽에 응고가 억제되고 2차냉각에 의한 열이동방향의 결정만 잔류하여 우선 성장하여 주상정 혹은 단결정의 주괴를 얻을수 있다.이른바 가열주형식 연속주조이다.고품질의 소재를 얻을수있고 조직제어가 되어서 극소 고기능 선재나 소재의 제조공정으로서 소량 다품종에 적합하다.현재 기능성,전자,전기 소재 제조에도 응용되고 있다.

구 분		기존 연속주조법	가열주형식 연속주조법
주괴 건전성	내부결함	내부에 기공,수축공,불순물 편석이 다수	내부에 기공,수축공,불순물 편석 거의 없음
	표면결함	표면이 거칠다	표면이 평활하며 경면상태
주조조직		다결정조직	일방향응고 조직,단결정 용이
가 공 성		난가공선재는 압연,선 인발이 어려움	난가공선재도 중간열처리 없이 가공용이,30미크론 이하 초극세선
생 산 성		대량	소량 다품종
공 정		다단계	단순
경 제 성		제조경비가 높음	제조경비가 저렴
기술문제	용해,주조	기술적문제 없음	주조조건 정밀제어 필요
	가 공	가공단계가 많아 설정 어려움	가공단계가 단순하여 설정용이



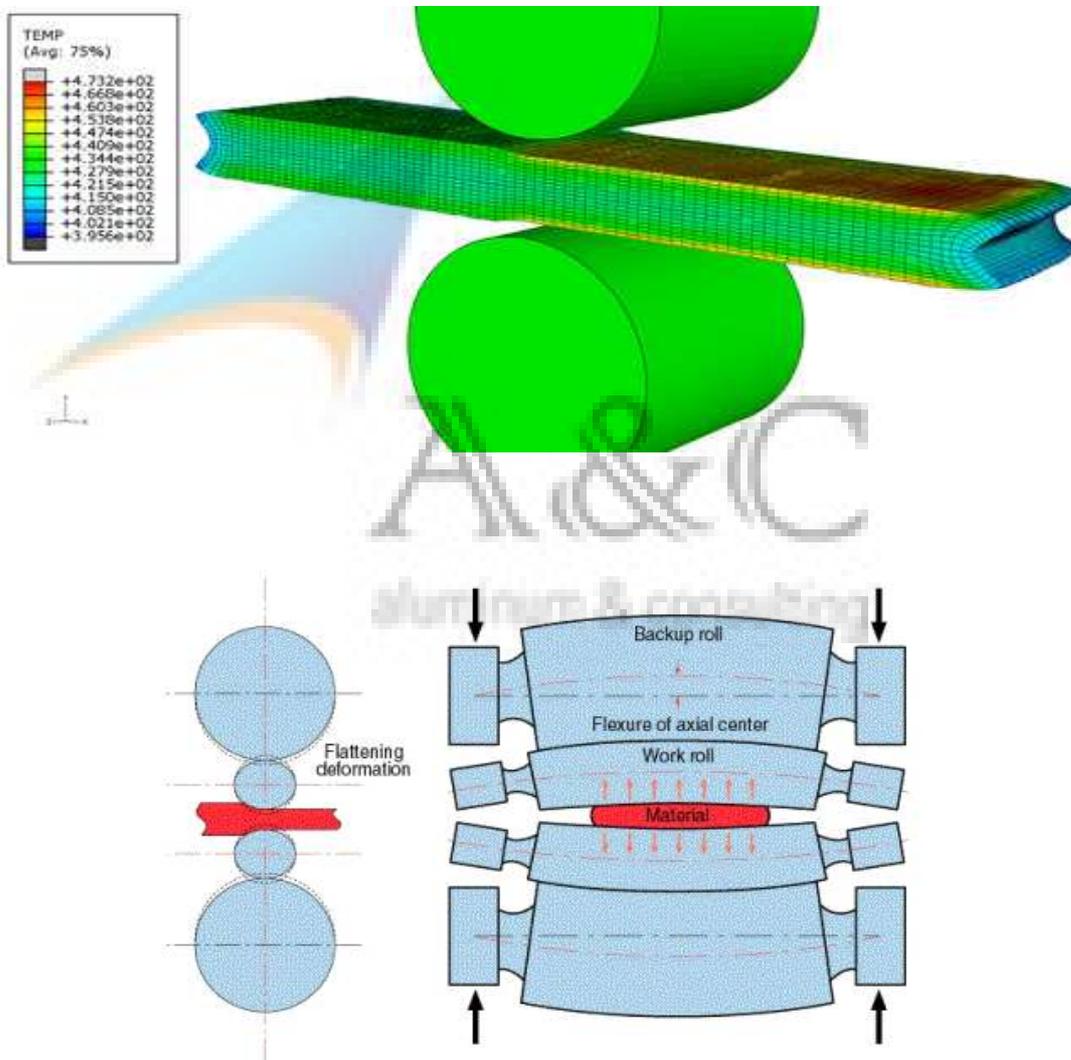
Crystal Grain Structure



4. 압 연 (rolling , 壓延)

4.1. 개 요

금속의 소성(塑性)을 이용해서 고온 또는 상온의 금속재료를, 회전하는 2개의 롤 사이로 통과시켜서 여러 가지 형태의 재료, 즉 판(板)·봉(棒)·관(管)·형재(形材) 등으로 가공하는 방법이다. 압연에는 고온으로 하는 열간압연(熱間壓延)과 저온에서 실시하는 냉간압연(冷間壓延)이 있다. 열간압연은 압연동력이 작아도 되고, 큰 변형을 쉽게 할 수 있는 장점이 있으며, 단조품(鍛造品)과 같은 성질을 압연재에 줄 수가 있다. 그러나 고온으로 인한 산화에 의해 표면이 깨끗하게 되지 못하며, 치수의 정밀도도 좋지 않고 두께가 얇은 것도 만들 수가 없다. 반면에 냉간압연은 아주 얇은 것도 만들 수 있고, 치수의 정밀도도 좋을 뿐 아니라 표면도 깨끗하게 할 수가 있다. 가공경화(加工硬化)를 이용해서 여러 가지 성질의 제품을 만들 수도 있다. 주로 띠강판[帶鋼板]을 만드는 데 사용되나, 띠강판에서 관·형재를 성형하는 데에도 사용된다. 관 등을 직접 냉간압연하기도 한다.



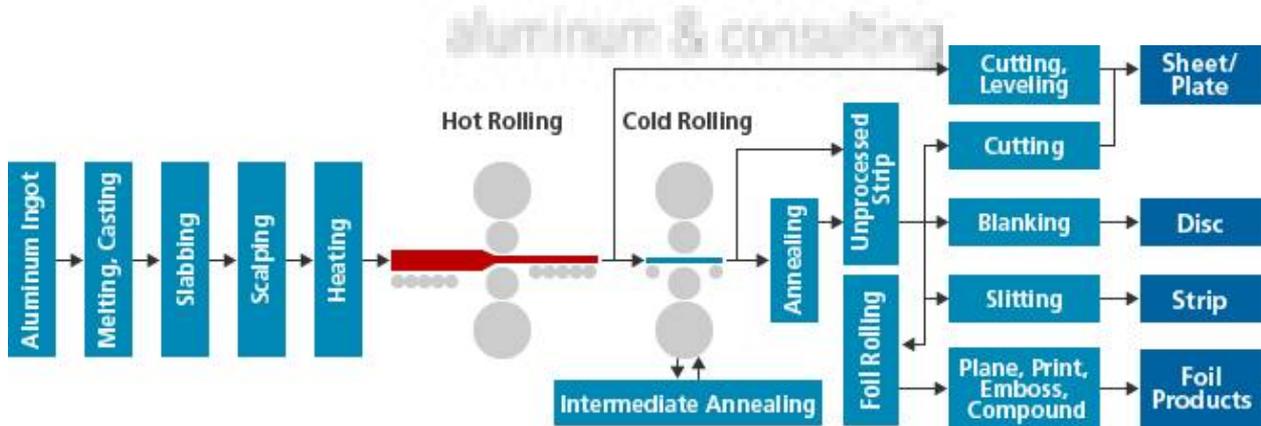
4.2. 압연공정 및 layout

각종 합금의 슬래브(slab)를 주조하고 면삭기(scalper)에 의하여 상하측면을 면삭하고 균질로 (Soaking)에서 균질화 열처리를 거쳐 열간압연하여 코일을 제조한다. 이 코일을 중간소둔을 거쳐 냉간압연으로 소정의 두께로 가공한 뒤 사상 공정으로 보내어 교정, 절단(slit)하여 제품이 된다. 후판 제품은 조압연에서 후판처리 공정으로 보내어 교정, 열처리, 절단, 검사 를 거쳐 출하된다. 캔 재료는 표면도장을 하여 출하한다. 실제 슬래브 제조에서 균질화 열간압연, 냉간압연, 마무리까지 진행되는 장치와 제품 제조과정을 보여 주고 있다.

알루미늄 압연공정에서 품질요인 관리사항

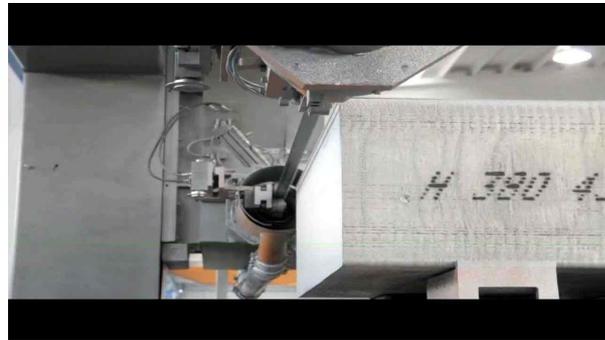
품질항목	제조공정	품질관리 포인트
기계적성질	조괴공정	화학적분
	가열공정	가열온도, 가열시간, 가열패턴
	열연공정	열연기 및 사상기의 압연온도
	냉연공정	냉간가공도
	열처리공정	열처리온도, 시간, 가열패턴
치수정밀 형상	열연공정	판폭 및 길이방향의 두께분포
	냉연공정	판길이방향의 두께분포, 판형상
	사상정돈공정	판폭, 판길이 결정, 판두께, 판면의 검사, 판변형의 교정
	조괴공정	용해시 탈가스, 주입온도, 주입속도, 냉각속도, 필터링
표면의 미려 균일성	열연공정	압연유평성, 압연일정, 압연온도, 롤흄, 롤 balancing
	냉연공정	압연유평성, 압연일정, 롤조도, 권취, 권취방법, 롤흄
	사상공정	롤흄, 표면흄의 방지 및 발견, 표면처리조건, 도장조건

알루미늄 압연제품의 주요 품질별 제조공정에서 관리항목들을 보여 주고 있다. 주요 품질은 기계적 성질, 치수정밀도, 표면품질이다. 이들의 최종품질들은 각 단위공정들에서 적절하게 제어 유지되어서 종합적으로 얻어진다. 따라서 판재의 용도와 수량 및 품질수준에 따라서 단위공정에서 그에 요구되는 요소들에 보다 집중적인 관리와 평가 feedback이 요구된다.





melting , casting (slabing)



scalping



heating



hot rolling



cold rolling



intermediate annealing



annealing



quenching (plate, sheet)



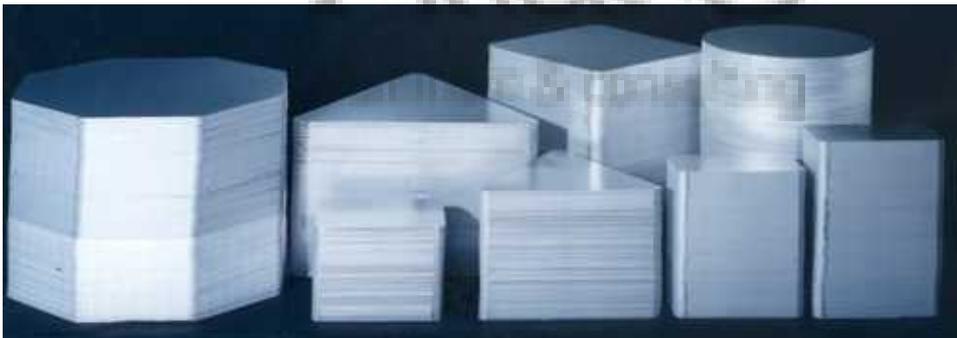
stretching (plate, sheet)



leveling (plate, sheet)



slitting (foil, strip)



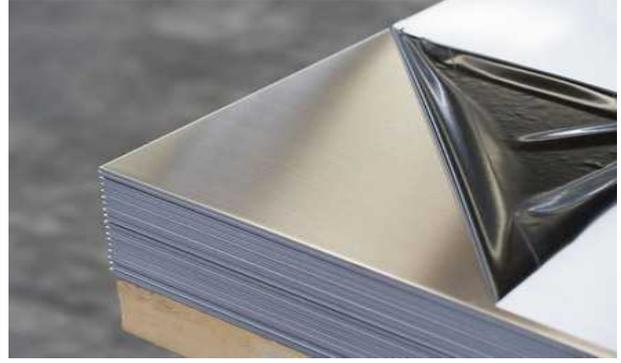
blanking disc (strip)



embossing (sheet, strip, foil)



marking



anodizing (sheet)



coil (strip,foil)



plate



4.3.절단, 면삭, 균열처리

주괴의 응고개시부와 종료부에는 주조결함들이 발생하므로 적당한 양을 절단한다. 또한 슬래브를 주문 크기에 맞게 절단한다. DC 주조후 슬래브의 표면산화 피막이나 편석을 후공정에서 결함의 요소가 되므로 상하면을 면삭하여 제거한다. 측면도 끝이 균열 방지 및 표면결함 방지를 위하여 면삭한다. 열간압연에 앞서 균질화처리를 하는데 그 이유는

- 응고에 의한 미세편석의 균질화
- 응고에 의한 과포화고용원소의 석출
- 응고에 의해 형성된 준안정상의 평형상으로 변화 등이다.

이러한 균열처리는 제품의 성능에 큰 영향을 미친다.

로 종류는 피트로, 대차식, 연속식 등이 있다. 피트로는 다수가 도입되어 있고 비교적 처리능력이 적은 것이 많다. 소량다품종에 적합하다. 대차식의 능력은 피트로에 비하여 크지만 적재에 필요한 기술이 요구된다. 연속식은 에너지단위가 좋고 대량생산에 적합하다.

가열방식으로는 직화식과 간접 식이 있고 직화식이 에너지효율이 높지만 화염이 슬래브에 직접 가열을 하므로 표면품질에 문제가 생길수 있다. 에너지 절감을 위하여 열교환기를 사용하기도 하며 온도제어는 실제제어 및 분위기온도제어가 있다.

4.4.열간압연

열간압연은 잉곳이나 슬래브를 수 - 수십mm 두께로 늘려 얇게 하는 공정으로서 열연에서 제품이 되면 사상공정을 거친다. 열간압연은 고온으로 가열하여 변형저항을 낮추어 가공하므로 보다 큰 가공량을 가지는 것이 특징이다. 가공시 주조 조직 즉 적출물들을 미세화하고 결정립이 압연집합 조직을 가지게 하여 전연성이 우수한 소재가 되게 한다.

열간압연의 중요 요소는 앞에서 언급한 큰 가공량, 압연조직으로 변화, 표면특성이 미려해지고, 재료의 기계적 성질(특히 방향성과 결정립)을 조정하는 것, 폭과 길이방향이 같이 우수한 판 제조이다. 최근 제어 기능의 발전으로 profile의 제어가 가능하고 있다.

알루미늄 열간 압연기에는 3종류가 있다. 첫째는 가역압연기 1대로서 핫코일에서 판재까지 제조하는 경우이고, 둘째는 조압연기 1대와 가역사상압연기 1대로 구성하는 것이고, 셋째는 조압연기 1대와 탠덤사상압연기로 구성하는 것이다. 보통은 균열로, 버티칼 edger, 조압연기, shear, 사상압연기로 구성되고 table 길이가 약 300m 전후이다. 보통 가역식 조압연기에서 수~20회 pass 압연으로 10~60mm 두께로 사상압연기에 보내어 지고 사상압연에서 2~15mm 정도의 coil up이 된다.

4.5.냉간압연

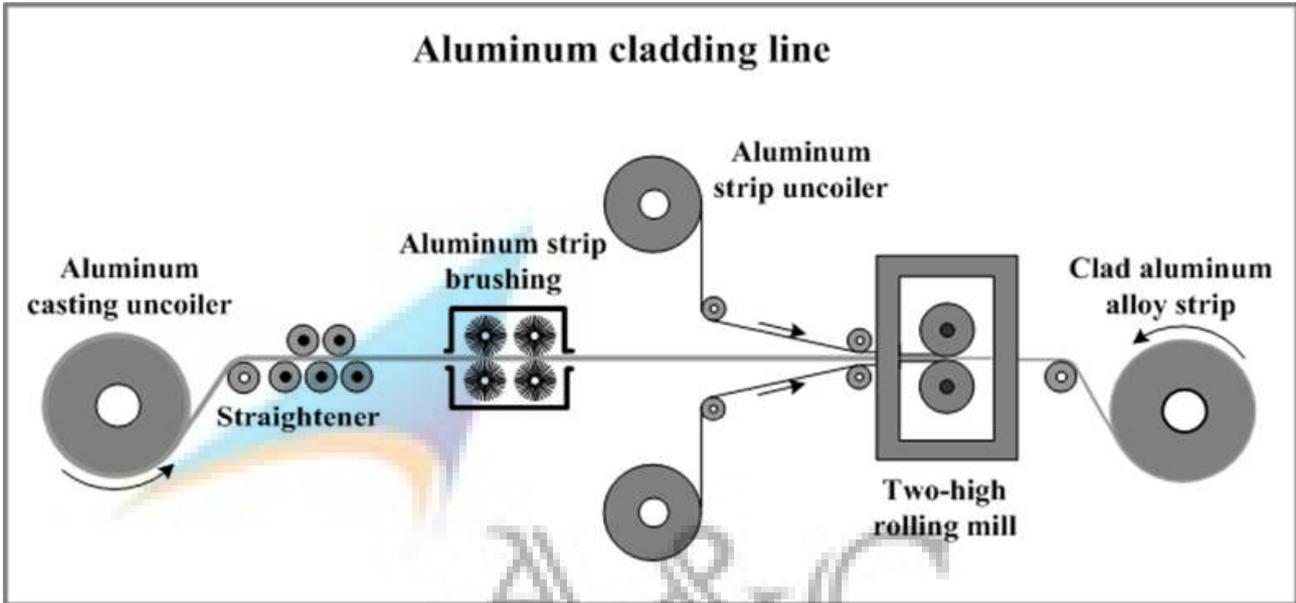
열간압연된 판재(plate)나 시트(sheet) 및 코일을 재결정온도 이하의 실온 근처에서 제품판 두께까지 압연하는 공정이 냉간압연(냉연)이다. 보통 1 pass에 30~60%의 압하율로 1~수회 pass하여 제품의 판재 두께로 감소시킨다. 제품의 요구 특성에 따라 중간에 중간소둔을 하는 경우가 많다. 또 일부 경질재에서는 냉간압연가공에 의해 성장한 edge crack을 제거하고자 냉간 황폭절삭 공정을 냉연 중간에 적용하기도 한다.이러한 냉연의 목적은 열간압연에서 얻지 못하는 박판재를 얻는 것 이외에 다음과 같은 점을 들 수 있다.

- 1.강도 경도 증가 : 냉연에 의한 가공경화로 요구하는 품질의 강도 제공
- 2.결정립 미세화 : 냉연 가공의 변형량이 후 열처리시 재결정 미세화를 촉진
- 3.치수 정밀도 향상 : 열연에서는 얻지 못하는 고정도의 두께 및 형상 정밀도 달성
- 4.표면특성 제공 : 표면품질상의 요구에 따라 표면외관의 균일성, 조도, 광택 등이 개선되고 roll 표면, 윤활유, 압력조건을 적절히 선정 하여 얻을 수 있다.냉연설비는 판두께나 공정에 따라 조압연기, 사상압연기, 극박물 압연기 등으로 분류가 된다. 그러나 그 구분이 모호해지고 있고 현재는 다양한 고출력, 고속, 고정밀도의 압연기가 도입되고 있다.

4.6. 압연클래드 (Clad rolling)

금속의 복합재료 중 하나로서 클래드재(합판, clad)는 단일 합금이 얻지 못하는 강도, 내식성, 접합성, 용접성, 외관 등의 특성 향상을 동시에 만족시키는 기능재료이다. 이 클래드재의 양산법으로서 압연압착(크래드 압연)이 있다. 이러한 클래드 압연을 이용한 제품의 사례를 아래 그림에서 볼 수 있다. 압연 압접은 열간과 냉간으로 나누며 알루미늄끼리 클래드 제조는 열간에서 한다. 여기서 클래드는 2층, 3층 등이 보통이고 5층이나 다층도 여러 가지가 있다.

열간 클래드 압연은 표피재료 준비(절단, 산세, 탈지) → 심재 준비(주괴 가열 변형) → 합체작업 (용접 및 합체 반복, 계면 청결이 중요) → 가열 (400~500°C) → 압착압연 → 압착후 압연의 공정으로 진행된다.



4.7. 중간 소둔 열처리

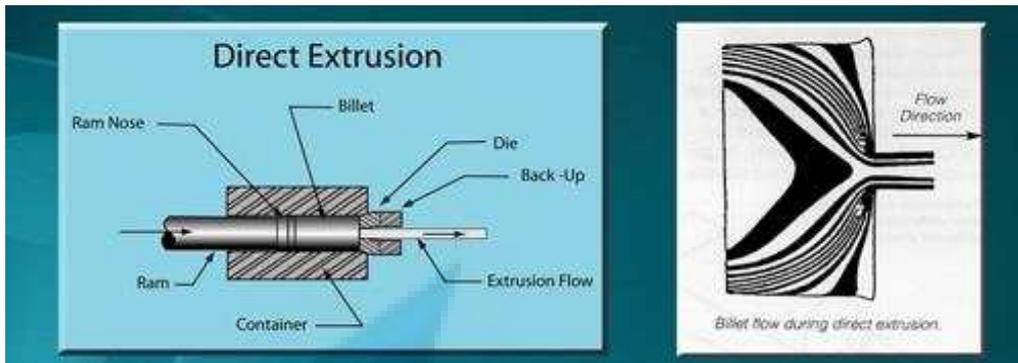
냉연시에 재료의 가공경화로 변형능이 감소하여 중간에 가열하여 냉간 가공재를 회복시켜 재결정화를 일으키고 재료 특성을 조정한다. 이러한 가열소둔 및 압연조절을 조질처리 라고도 한다. 최종 조질소둔에서 완전소둔(0), 부분소둔(H2X), 안정화처리 (H3X) 로 나누어진다.

5. 압출(押出, Extrusion)

5.1. 개요

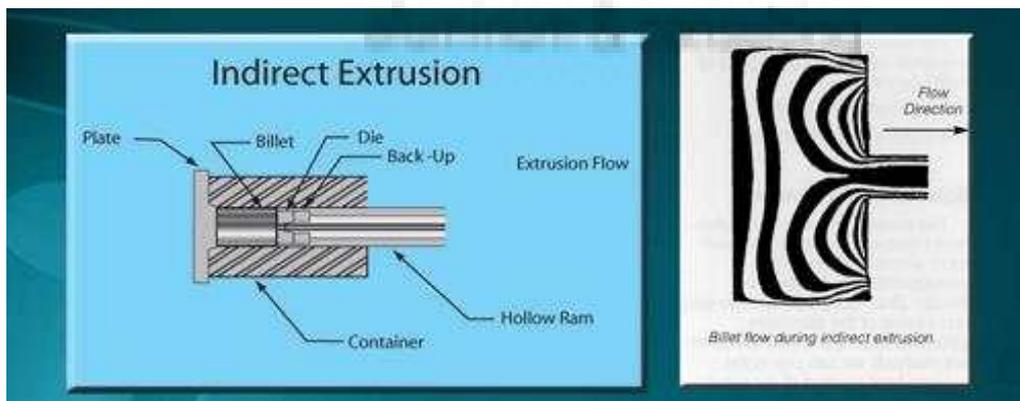
5.1.1. 직접압출 (直接押出, direct Extrusion)-단동식(Single Action),복동식(Double Action)

직접 압출법은 의료용 주사기와 유사한 동작을 한다. 직접압출에서는 Billet이 Container 안으로 장입되고, Ram 이 Die방향으로 압축되면서 Die 구멍을 통하여 압출된다. 본 압출의 경우 Billet 압출 과정에서 Metal Flow를 보면 Container 벽 쪽으로 갈수록 금속 흐름이 늦어 표면쪽으로 커다란 전단응력이 걸리게 되어 압출압력이 증가하면서 Billet내에 불균일한 변형을 발생시키고 결정립의 조대화(Grain Growth) 를 유발시킨다.



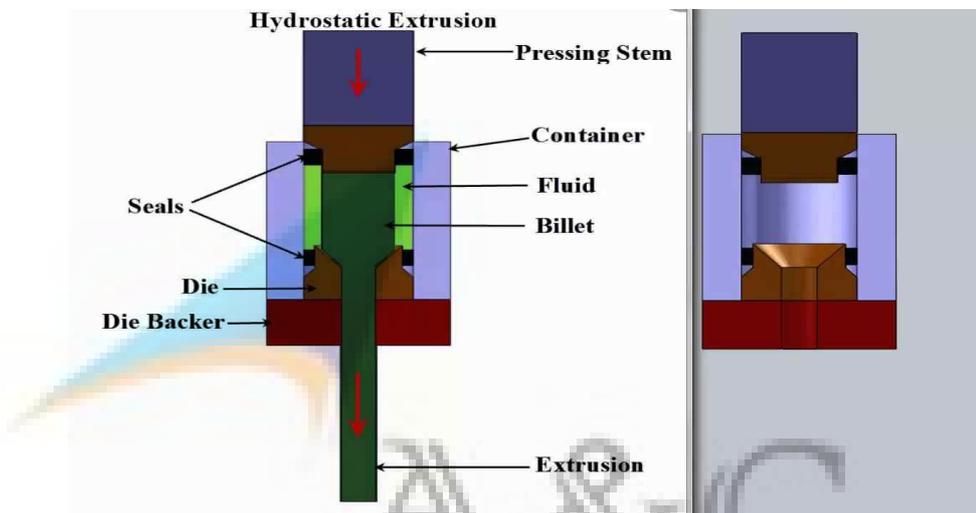
5.1.2. 간접압출 (間接押出, indirect Extrusion)-단동식(Single Action),복동식(Double Action)

직접 압출법과는 반대로 간접 압출에서는 중공 Die Stem 선단부에 Die가 설치되어 있으며 Die Stem의 이동과 동시에 반대방향으로 Die 구멍과 Die Stem내부를 통과하면서 압출된다. 간접압출에서는 billet과 container 사이에 상대적으로 이동이 없기 때문에 마찰에 의한 압출압력이 직접압출에 비하여 매우 낮다. 간접 압출법의 특징은 직접압출법 보다 압출 소요력이 낮고 거의 일정하기 때문에 압출제품 표면의 온도상승은 직접압출에 비하여 현저히 낮기 때문에 grain growth와 치수 안정화 측면에서 직접압출에 비하여 매우 유리하다. billet과 container사이의 마찰이 존재하지 않고, billet과 die사이의 마찰이 존재한다.



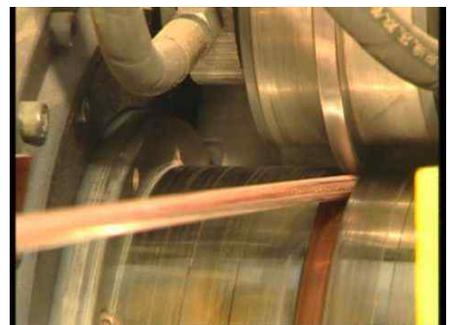
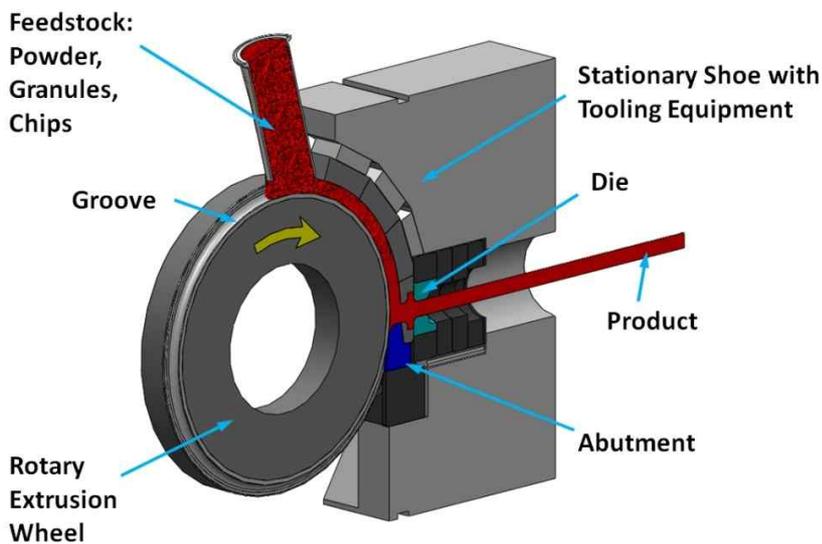
5.1.3. 정수압압출 (靜水圧, hydrostatic extrusion)

종래의 램 압출로는 빌렛의 후단을 스템(심봉)으로 직접 압출하는데 대하여 정수압 압출에서는 빌렛의 주위에 고압의 액체가 개재하므로 용기와 빌렛 사이의 마찰이 없이 다이스와 빌렛 사이의 윤활이 유체윤활에 가까운 특징을 갖는다. 압출압력은 10000~15000kg/cm²며, 압력 매체는 동식물유가 좋고, 점도의 압력계수가 작아서 상온 상압 점도가 큰 피마자유 등이 좋다. 공업적으로는 최소의 압력매체를 써서 될 수 있는 한 큰 압출비로서 가공할 필요가 있으며, 유막을 이용한 하이dra 필름법(hydrafilm)은 정수압 압출이 종래의 윤활 램 압출에 가까운 것이다. 압출 속도는 빠른 쪽이 제품 치수의 정밀도가 좋다. 또, 압출비가 크지 않아도 제품의 밀도가 거의 변하지 않고, 연성이 높은 제품이 쉽게 얻어진다. 그리고 압출비가 10 이하에서는 가공도와 함께 강도가 상승하고, 연성은 저하하는데 압출비가 10을 넘으면 가공중의 온도 상승 때문에 강도가 저하하여 연성이 늘어나는 경향이 있다.



5.1.4. 컨폼(연속)압출 (conform extrusion, continuous extrusion)

압출(壓出)과 압연(壓延)을 조합한 가공법이다. 소재는 롤(roll)에 의하여 끌려 들어가 단면이 압연 축소되며, 롤 간극의 출구에 압출 다이(dies)가 있고 재료는 이 구멍에서 압출된다. 압출에 필요한 압력은 롤면의 마찰력에 의하여 주어진다.



© Neue Materialien Fürth GmbH

5.3. 압출공정들의 특성과 문제점 및 대책

압출법	중공다이방식	장단점	단점대책
직접압출	중공다이(hollow)	1. 열간압착부 발생 압착부가 존재하면 모재와 강도가 동등 압착부의 조직은 비압착부와 달리 알루미늄 트후 표면이상 결함이 발생	적정 압출비의 선정 다이온도관리가 중요 윤활유, 이형재의 혼입방지 다이스형상의 최적화
		2. 맨드렐에 비하여 소경관 제조가 가능 3. 맨드렐관은 1 구 압출이지만 다구압출이 가 능	
맨드렐(mandrel)		1. 열간압착부가 없다. 2. 관 정밀도(특히 편육정도)는 중공다이에 비해 나쁘다. 3. 고력합금관의 제조가 가능하다.(al-cu계, al- zn-mg-cu계)	
	중공다이	1. 열간압착부가 없다. 2. 관 정밀도(특히 편육정도)는 중공다이에 비해 나쁘다. 3. 고력합금관의 제조가 가능하다.(al-cu계, al- zn-mg-cu계)	
간접압출		맨드렐(mandrel)	1. 열간압착부가 없다. 2. 관 정밀도(특히 편육정도)는 중공다이에 비해 나쁘다. 3. 고력합금관의 제조가 가능하다.(al-cu계, al- zn-mg-cu계)
	4. 금속흐름이 균일하고 온도변화가 적어서 균 일한 조직 제품 제조		
	5. 직접압출에 비하여 관 정밀도가 높다.		
	6. 직접압출법에 비하여 압출력이 작다 고력합금관 제조 유리		
	7. 빌렛외피가 압출제품에 혼입되어 결함발생가 능		
컨폼압출 (연속압출)	중공다이	1. 장척관의 제조가 가능 2. 제조중에 산화물, blister 가능성 소경관의 제조에 적합	선소재 표면 개선 윌홈 내부 청정유지

5.4. 압출성을 지배하는 인자와 문제점

일반적으로 압출성은 시간당 압출제품 중량으로 정의되면, 재료 수율의 향상과 압출시간 및 데드사이클(dead cycle)시간의 단축을 어떻게 기술적으로 진행시켜 나갈 것인가가 중요하다. 압출시간의 단축에 가장 효과적인 방법은 압출속도의 향상인데 압출속도의 증대는 다이스 베어링 온도나 압출재 온도의 상승에 의한 표면결함이나 내부품질을 저하시키고 요구되는 제품품질이나 형상치수를 현저하게 손상시키는 원인이 된다. 그렇기 때문에 billet 품질이나 die 구조, 가열온도, 압출비 등이 압출 작업상에 문제가 되는 영향인자를 바르게 선택해야 한다. billet, 압출금형, 압출기술(공정)에 기인하는 영향인자는 조업시 단독으로 작용하는 것이 아니라 다변 복잡하게 상호작용 하면서 압출재를 형성해 나간다. 이와같은 인자가운데에서도 Die를 중심으로 한 압출금형의 양호, 불량은 압출재의 품질과 생산성을 지배하는 제1인자라 해도 과언이 아닐 것 이며, 압출금형의 설계, 제작이 차지하는 위치는 매우 높다. 압출기술은 압출압력, 압출온도의 정확한 측정과 그 제어기술의 발전 등 압출기술에 깊이 관계하는 장치나 설비의 개발이 중요하다.

1) 압출시 최고 예열온도는 균질처리 온도까지 올릴 수 있다. 그러나 billet가 container로 들어갈 때는 마찰력과 변형저항으로 인하여 billet 내부의 온도는 급격히 상승하여 bearing 부위에서 최고의 온도를 나타낸다. 이때 bearing 부위의 온도가 제품의 기계적 성질에 영향을 주는 가장 중요한 요인이 된다. 따라서 일반적으로 hard alloys 에서의 container 예열온도는 billet 예열온도 보다 20~30°C 낮추어 작업하고, soft alloys는 50°C 이상의 편차를 둔다. 일반적으로 sash 공장에서는 taper heating으로 관리하고 있다. (container 예열온도는 billet 예열온도 보다 낮게 하는 이유는 billet 표피층의 산화물이 dead metal 상태로 container 내부에 남도록 하여 추후에 butt end로 버린다. 예열온도를 조절하지 않을 경우 billet 표피층이 제품에 유입될 확률이 높다. dead metal 형태로 나타난다.)

2) 처음에 billet를 압출온도에 맞추더라도 압출이 진행됨에 따라 마찰 및 변형에 의한 열로 billet 온도는 증가하게 된다. 따라서 변형이 심한 표면쪽에는 재결정에 의한 입도성장이 다르게 된다. 입도성장의 최소화는 container 와 die 온도의 조절로 최소화 될 수 있다.

3) 압출물의 표면상태는 압출온도, 압출속도, die면의 상태 그리고 billet의 상태에 따른다. 온도가 높을수록, 속도가 빠를수록 표면은 거칠어진다. 그러나 1000계 및 3000계열은 상당히 높은 온도에서도 좋은 표면을 얻을 수 있다.

4) 압출온도 와 속도

열간압출에서 중요한 점은 가공경화가 일어나지 않는 재결정 온도 이상의 온도에서 충분히 소성변형을 일으켜서 재료의 흐름이 연속적이며 균일하게 하는 것이 좋다. 일반적으로 압출시 billet 온도가 상승하면 재료의 항복력이 감소하여 압출압력이 감소하나 billet 표면의 고온부식으로 인한 산화물이 dies에 부착하여 표면결함을 발생 시킨다. 반면에 온도가 저하하면 항복응력이 상승하여 압출압력이 증가됨으로 압출이 어려워진다. 그러므로 적당한 압출온도(billet, container, die)를 선택하는 것이 매우 중요하다.

5) 압출비

압출비 = container 단면적 * 압출품의 단면적

일반적으로 압출비는 순수한 알루미늄과 같이 압출이 용이한 금속인 경우에 99까지 압출이 가능하나, 고력 알루미늄합금의 경우 최적 압출비는 A1100 : 100이하, A2014: 40이하, A2024 : 35이하, A3003 : 80이하, A5052 : 60이하, A6061 : 60이하, A6063 : 80이하, A7075 : 25이하 최적 압출비는 일반적인 내용으로서 Billet 품질, 압출설비의 정도, 압출금형 기술의 수준에 따라서 변할 수 있다. 압출비가 적을수록 주조조직이 덜 파괴됨으로서 기계적성질이 저하되기 때문에 최소 압출비는 10이상 이 되어야 한다. 10 이하일 경우에는 up setting을 필히 하여야 한다.

5.5. 압출성도표(압력, 표면형상, 강도)

합금조성	다이스 구조	온도	압력	속도
주조조직	다이스형식	다이스온도	압력분포	램속도
균질화조직	베어링형상	빌렛온도	다이스변형	출구속도
소재청정도	베어링치수 베어링특징 중공다이스 용착부 다이스마찰	출구온도		

5.6. 각종 알루미늄 합금의 한계 압출속도와 추천 압출온도

합 금	한계 압출속도(M/min)	압출 온도 (°C)	용융온도 범위 (°C)
1050	100	400~480	646~657
1100	90	400~480	646~657
2011	8	430~500	535~643
2014	6	375~430	507~638
2017	6	375~430	513~641
2024	4	365~420	502~638
3003	60	400~480	643~654
4032	6	390~410	532~571
4043	30	420~470	574~632
5052	20	400~500	593~649
5056	7	420~480	568~638
5083	3	420~480	579~641
6063	70	430~520	616~654
6061	40	430~500	582~652
6101	50	430~500	621~654
6151	40	430~480	588~649
6351	40	430~500	555~650
6463	60	430~500	615~654
7003	40	430~500	615~650
7N01	25	430~480	615~650
7075	2	360~400	477~638

5.7.PWQ (press water quenching)의 작업조건

압출 시 container내로 투입된 billet는 압출의 진행과 함께 마찰로 인한 온도의 상승이 일어난다. 따라서 billet 의 전반부에 비하여 후반부쪽이 온도가 높아지게 되며, 이로 인해 압출 후반에서는 grain growth, pick up 등의 외관 결함을 유발 시키므로 속도를 낮추지 않으면 안된다. 또한 billet 내부의 온도는 급격히 상승하여 bearing부위에서 최고의 온도를 나타낸다. 이때 이 bearing 부위의 온도가 제품의 기계적성질에 영향을 미치는 가장 중요한 요인이 된다.따라서 이를 방지하기 위하여 billet의 전반부에 비하여 후반부의 온도를 30~50°C 정도 낮추어 주는 taper heating 방식이 있다. Taper heating을 하게 되면 압출 후반부의 속도를 높일수 있다.press quenching 하는 제품은 압출시 석출물의 고용을 위하여 billet 가열온도를 높인다. 1000계, 6000계열 등 soft alloys 는 용융온도 범위가 높으므로 압출온도를 높일 수 있고, 따라서 변형응력을 작게 할 수 있어 생산성을 높일 수 있다.2000계, 7000계열 합금은 석출물이 압출 1 cycle 동안에 고용되기가 힘들고 cooling rate가 매우 빠르므로 PWQ가 불가능하다. 또 6000계열은 용융온도 범위가 높아 석출물이 고온확산 됨으로 고용되기 쉬우나 2000,7000계열은 용융온도 범위가 낮아 비교적 저온확산 됨으로 석출물의 확산속도가 느리다.6000계열 합금에 있어서는 압출후 냉각속도가 매우 중요하다.압출온도로 부터 250°C 까지는 각 합금이 요구하는 냉각속도로 제품을 냉각시켜야 한다. 250°C 까지 서냉 시켰을 경우에는 결정립내의 강화원소가 남아있지 않게되므로 기계적 성질이 저하한다.특히 두꺼운 제품에 대하여는 냉각속도 (cooling rate)가 매우 중요하다.(7075의 경우 냉각속도는 100°C / sec로서 press quenching이 어렵다.)

합금	Cooling Rate	Bearing통과 최저온도	용체화 온도	냉각 방법
6005	3 °C / sec	515 °C		Air, Mist, Water
6063	1 °C / sec	520 °C	515~529 °C	Air, Mist, Water
6061	10 °C / sec	520 °C	551~552 °C	Mist,Water
6082	10 °C / sec	540 °C	535~545 °C	Water

6000계 합금의 PWQ 조건

6061의 냉각속도는 빨라야 하기 때문에 PWQ을 하여야 하나 두께가 2t이하의 제품에 대해서는 air 또는 mist 를 이용하여 시험해 볼 필요가 있다.6061은 6063 보다 압출시 온도상승 효과가 크다. 즉, 온도상승이 잘된다. 따라서 표면에 pick-up 나오기 쉽고, 제품 표면이 나쁘다.PWQ시 강도를 올리기 위하여 압출온도를 올리게 되면 제품 표면이 거칠어지고, 변형율이 커진다. 반대로 압출온도를 낮추게 되면 강도와 생산성이 저하됨을 걱정한 조건 설정이 매우 중요하다.

5.8.프레스효과 the press effect

round bar 나 square bar 를 길이 방향으로 압출하면 길이방향으로 길게 늘어난 조직을 얻을 수 있다. 이러한 제품을 길이 방향으로 인장하면 보통의 경우보다 우수한 인장강도를 얻을 수 있다. 즉 재결정이 일어나지 않는 늘어난 조직(섬유상조직)을 얻는 것을 press effect라고 한다. 압출비가 비교적 낮은 경우 press effect를 지키는 것이 유리하고, 압출비가 높은 경우 (재결정을 피할 수 없는 경우)에는 재결정을 촉진시켜 미세한 재결정 조직을 얻는 것이 좋다. 작거나 얇은 단면의 것은 press effect를 유지하기가 매우 힘들다. 따라서 이러한 것들은 결정입자를 작게하는 것이 매우 중요하다. 따라서 두꺼운 제품은 press effect를 유지시키기 위하여 낮은 온도에서 균질하며, press effect를 유지하기 힘든 얇은 제품에 대하여는 높은 온도에서 균질처리를 하여 결정내에 입자를 미세하게 할 필요가 있다. 고온에서 균질처리 하면 미세한 입자가 많이 생성되어 이것이 후에 재결정의 핵으로 작용하여 미세한 재결정을 형성시킨다. 6061 제품인 경우 press effect 를 갖게되면 인장강도가 28kg/mm²에서 30~32kg/mm² 정도로 증가하게 된다. 이때는 철저히 재결정이 일어나지 않도록 해야한다.

구 분	press effect를 지키기 위한 조건 (두꺼운 제품)	재결정을 촉진 시키기 위한 조건 (얇은 제품)
합금성분	재결정 방해원소(Mn,Cr,Fe,Zr)첨가	재결정 방해원소의 첨가량 최소화
균질	저온 균질 또는 무 균질	고온 균질
Billet온도	압출시 Billet온도를 높게 하여 변형량을 줄인다.	압출시 Billet온도를 낮게하여 변형량을 많게한다.
압출비	가능한 한 낮게 (Hole 수는 많게)	가능한 한 높게 (Hole수는 적게)
압출속도	압출속도를 늦춘다.	압출속도를 빠르게 한다.
냉간가공	열처리 전 냉간가공을 하지 않거나, 하더라도 최소로한다.	열처리 전 충분한 냉간가공을 한다.
용체화 처리	가능한 한 낮은온도에서 단시간처리	가능한 한 고온에서 장시간처리

5.9. 압출설비의 점검 및 관리방법

1) 압출기의 alignment check

압출기의 alignment는 제품 품질(치수 정밀도, 표면품질 등)에 직결됨으로 수시로 확인하여 최상의 상태를 유지해야 한다. 기본적으로 주1회 실시하여야 하니 설비의 정도와 사용상태에 따라서 다르다. (data화 필요)special die 의 내경은 stem 외경보다 1mm 크게 별도로 제작한다. 확인 방법은 육안 또는 측정기구를 이용한다.

2) container와 billet의 clearance

정밀한 tube 작업시 clearance가 적을수록 좋다. Billet 표면 및 힘의 정도가 양호하다면 clearance 는 더 줄일수 있다.

3) Container Cleaning

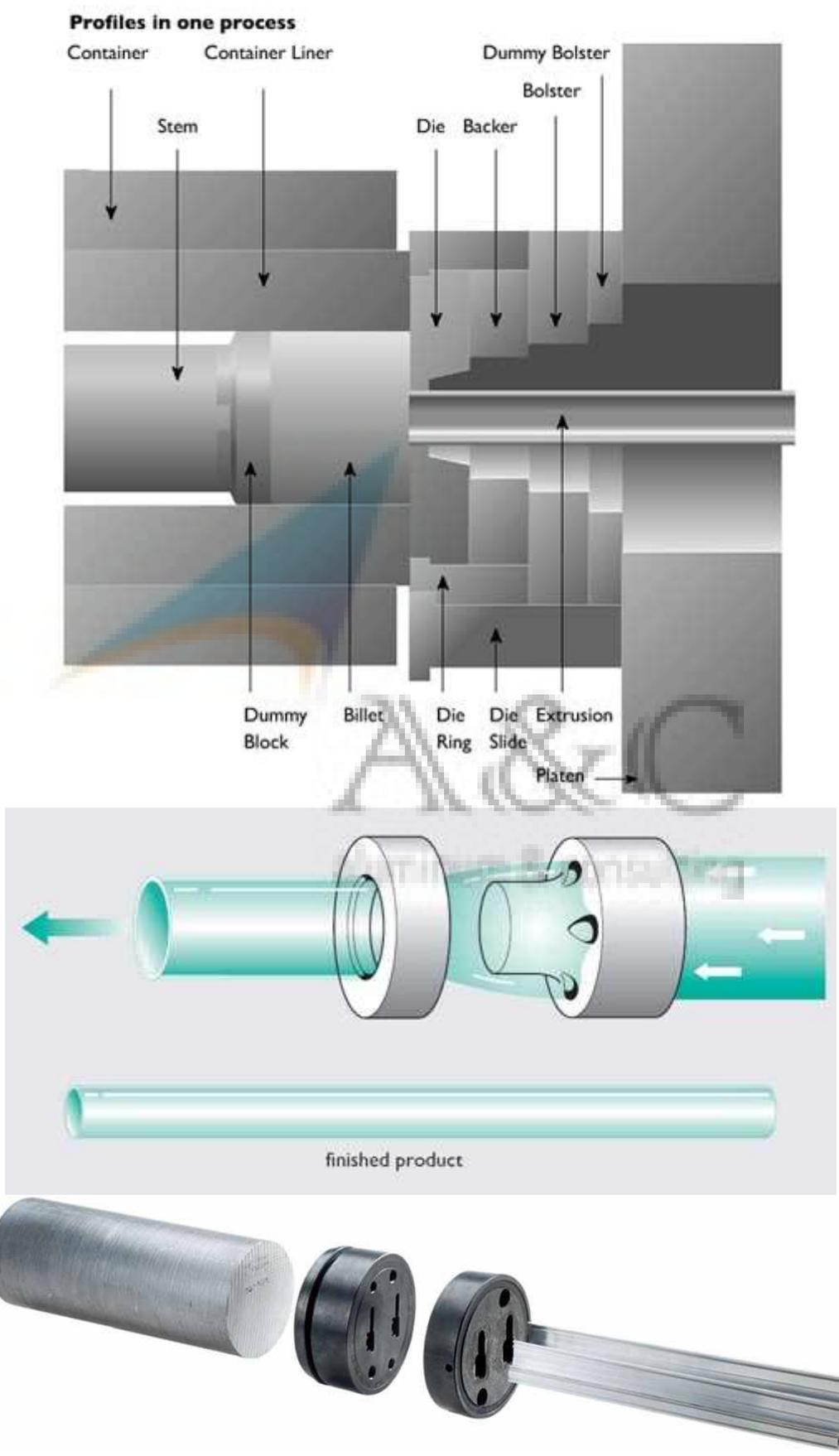
재질 변경시 또는 billet 5~10개에 1회정도 skimmer ring 을 사용하여 container내벽에 소착되어 있는 산화물이나 이물질등을 제거해 주어야한다.

4) Platen Bending 측정

5) Tie-Rod Stretch (측정압력을 가하기 전, 후의 차이 측정)

5.10. 압출금형 (extrusion dies)

5.10.1. 압출금형의 개요



5.10.2. 압출금형의 종류

5.10.2.1. flat dies (solid dies , 평 금형)

- 1) Flat Type
- 2) L.I.P (Lead In Plate) Type

5.10.2.2. hollow dies (중공 금형)

- 1) Port-Hole Type
- 2) Bridge Type
- 3) Spider Type
- 4) Mandrel Type (Seamless tube = mandrel + Die + Backer)

5.10.2.3. flat dies 특징 (solid dies , 평 금형)

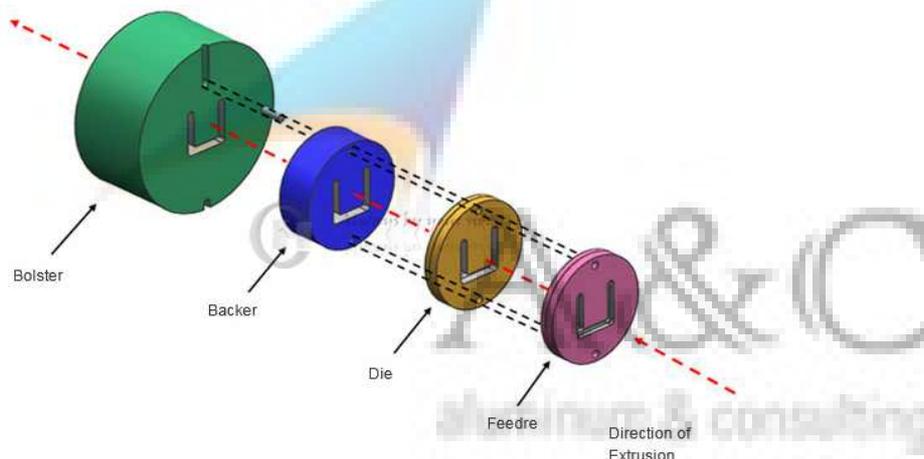
형상이 중공부위를 포함하지 않는 형재나 봉재등과 같은 제품을 생산 하는데 사용

Die : 제품의 형상 결정

Backer : Die만으로 높은 압력을 견디어 내지 못하기 때문에 Backer로서 지지해 준다. Crack이나 경도 저하가 일어나지 않는한 반 영구적이다.

- 1) Flat Type : Die + Backer

일반적으로 가장 많이 사용하는 금형으로서 형상이 단순한 제품에 사용된다.



- 2) L.I.P Type : L.I.P + Die + Backer

제품 형상에 따라 물량 Backer 조절

제품의 연결작업

제품의 외접원이 Container Size보다 클때 사용

제품의 형상이 Flat Type과 Hollow Type의 중간일때 사용

L.I.P형 금형의 장점은 Billet외경의 1.3배까지 제품생산 가능

5.10.2.4.hollow dies 특징 (중공 금형)

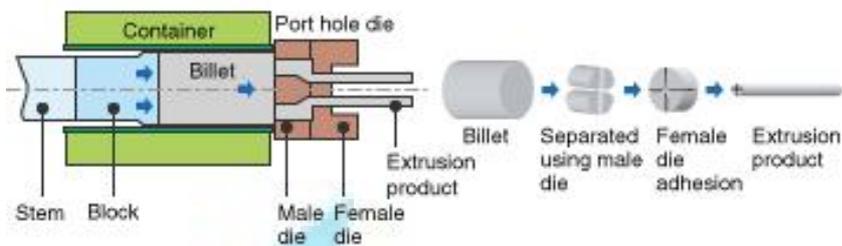
core가 있는 제품 즉, 파이프와 같은 제품을 생산하는데 사용 된다.

die : 제품의 외경 또는 외각 형상을 결정한다.

port hole, bridge, 제품 생산시 내경을 결정한다.

1) port hole dies

복잡한 Hollow 단면형상의 압출에 유리하다. 스파이더에 비해 자유로운 설계 즉, 다이스내의 Metal Flow의 균형을 잡는 Metal Hole의 크기 및 위치를 자유롭게 설정이 가능하므로 현재는 Hollow Dies의 주류를 이루고 있다.중공부위가 크고 두께가 두꺼운 제품에 유리하나, 압력을 많이 받아 Die 수명이 짧다.



2) Bridge dies

압출성은 우수하지만 제작 및 Metal Flow의 조정에 난점이 있다.중공부위가 적은 형재 및 얇은 두께의 제품에 적합하다.



5.10.3.금형 재료의 특성

알루미늄합금의 압출에 일반적으로 사용되고 있는합금 공구강 SKD61, SKD62및 Cr, Mo, V 그리고 W를 주요 첨가원소로 하는 내열특성이 양호한 다이스강 이다.특성으로는 고온에서의 내마모성,내 열피로 Crack성,고온 인장강도 와 고온 경도, 우수한 질화특성,높은 크리프 강도 SKD61은 알루미늄 합금 압출용 다이스로 널리 사용되며, 강도와 인성이 균형잡힌 재료이며 SKD62는 SKD61에 W를 첨가해 고온경도와 내마모성을 증대시킨 재료이다.

AISI Symbol	JIS Symbol	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V
4340	SKT4	0.55	0.35 ↓	0.080	1.65	0.85	0.35		0.15
H13	SKD61	0.37	1.00	0.5 ↓		5.00	1.25		1.00
H12	SKD62	0.37	1.00	0.5 ↓		5.00	1.25	1.25	0.40

압출금형 및 공구의 화학성분

구 분	Liner Slleve	Liner Holder	Stem	Dies	Dummy Block	Die Holder	Dies	Cleaning Disk
사용되는 재료	SKD61	SKD61	SKD61	SKD61	SKD61	SKD61	SKD61	SKD61
	SKD62	SKT4	SKD62	SKD62	SKD62	SKD62	SKD62	SKD62
관리경도 (HRc)	43~48	35~42	45~50	43~48	43~48	43~48	43~48	43~48
사용경도 (HRc)			46~50	47~49			47~49	

압출금형 및 공구의 경도

6.10.4.금형의 표면 경화처리

표면 경화처리의 목적은 금형의 수명연장 및 압출제품 표면의 개선에 있다. 다이스의 표면 경화처리에는 침탄, 질화, 침류질화 등이 있으며 모두 다이스 베어링표면의 경도를 개선하기 위해 행해지고 있다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 것이 질화처리법이다. 질화처리법은 가스질화, 염욕질화, 이온질화법 등으로 대별된다.이들중에서 이온질화법은 내 마모성이 타 질화법에 비해 2배이상의 수명이 향상되며 균일한 표면 질화층을 형성하는 것으로 알려져 있다. 그러나 국내 기술이 일본 등의 선진국 기술에 비하여 떨어지고 있어 향후 기술개발이 요구된다.최근에 코팅방법을 이용한 화학증착법-CVD, 물리증착법-PVD, 플라즈마CVD법 등이 있는데 다이스의 표면경화법으로는 일반적이지 못하다는 견해가 많으나 현재에도 지속적으로 연구되고 있다.일반적으로 질화의 효과를 내기 위해 표면경도는 Hv950~1000, 경화층 깊이는 0.1~0.15mm가 필요하다.경도와 경화층의 깊이는 적절한 가열시간에 의해 정해지며, 경도는 필요이상으로 높이면 박리현상을 일으켜 그 부분에 알루미늄이 부착 및 퇴적해 표면결함이 발생한다. 압출금형은 질화처리도 중요하지만 사용방법 또한 중요하다.특히 금형 예열시간은 질화층 파괴와 연관이 많으므로 관리가 요구된다.

금형 예열시간	질화층 산화깊이
1~2시간	3~4μ (0.003~0.004mm)
4~5시간	6~8μ (0.006~0.008mm)
10시간 이상	질화층 완전산화

5.10.5. 압출 Dies 설계

1. 제품 생산가능 여부 판단시 고려해야 할 사항

- 제품의 생산 난이도를 판단한다.

※ 난이도 Factor

$$F = \frac{\text{주변길이 (mm)}}{\text{단 중 (kg/m)}}$$

F < 500 : 압출하기 쉽다

500 < F < 600 : 보통

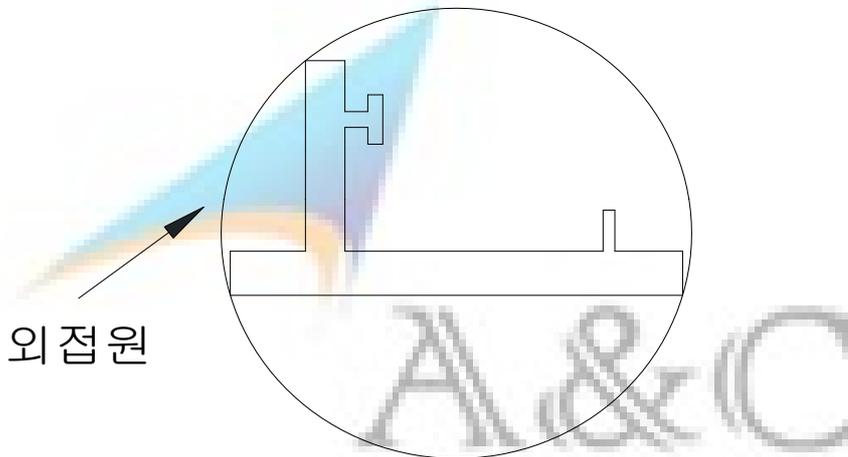
600 < F < 700 : 조금 어렵다

700 < F : 아주 어렵다

(1) 미국식 분류

$$F = \frac{\text{단면적 (mm}^2\text{)}}{\text{주변길이 (mm)}}$$

(2) 유럽식 분류 : 주변길이를 정확히 알기 어렵다.



① $F = \frac{\text{외접원 (mm)}}{\text{가장 얇은두께 (mm)}}$

② $F = \text{가장 두꺼운 부분의 두께} - \text{가장 얇은 부분의 두께}$

제품에 대한 난이도는 생산업체의 실정에 맞는 Data의 수집, 분석이 필요하다.

- 재질(성분)을 판단한다.
- 수주측의 요구조건 (단면공차, 직진도, 비틀림, 평면도, 진원도, 직각도, 절단길이, 표면조도 및 외관 등)을 검토한다.
- 압출 제품의 상호 호환성에 대하여 검토한다.
- 제품의 외접원을 검토한다.
- 수주측이 요구하는 기계적성질과 표준 기계적성질과의 일치 여부를 확인한다.
(관련규격내의 특별한 사항을 확인한다.)

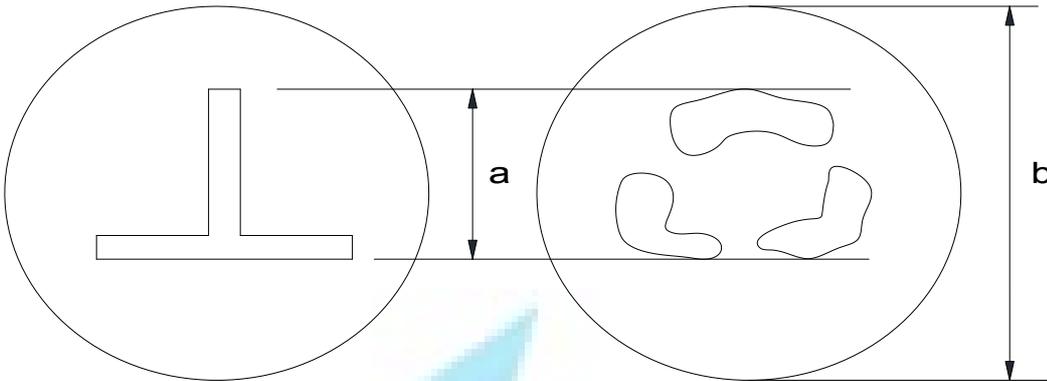
2. 설계시 고려해야 할 사항

- 적용할 장비를 설정한다. (압출기 및 Billet Size)
- 제품의 형상에 의해 Dies의 type을 결정한다.
- 제품의 외접원을 고려한 Dies의 외경을 선정한다.

Flat Dies : $b = 1.5 \sim 1.6 \times a$

Port-Hole Dies : $b = 1.6 \times a$

(a : 제품의 외접원, b : 금형의 Out Dia)



- 제품의 Welding 부위를 선정한다.
- Flat Dies 나 Port-Hole Dies 에서 Multi Hole로 배치할 경우 제품이 압출되면서 비틀리거나 엉켜서 출구처리가 힘들지 않도록 배치한다.
- 제품의 단면적을 계산하여 압출비를 구한 다음 적절한 압출비로 생산될수 있도록 Hole을 배치한다.
- Dies 설계가 끝나면 Die Bearing을 부여한다.

합 금	상대비율	합 금	상대비율	합 금	상대비율
1050	150	5052	80	6101	100
1060	150	5056	20	6151	70
1080	150	5083	20	6253	80
1100	150	5086	25	6351	60
1150	150	5154	50	6463	100
1200	135	5254	50	6663	100
2011	15	5454	50	7N01	40
2014	20	5456	20	7001	7
2024	15	6060	100	7003	60
3003	100	6061	60	7075	10
3060	100	6063	100	7079	10
3063	100	6066	40	7178	7
4043	60	6082	60		

※ 6063의 압출성을 100으로 기준 했을때

알루미늄 합금의 상대적인 압출성 비교

5.Dies의 Metal Flow 조절방법

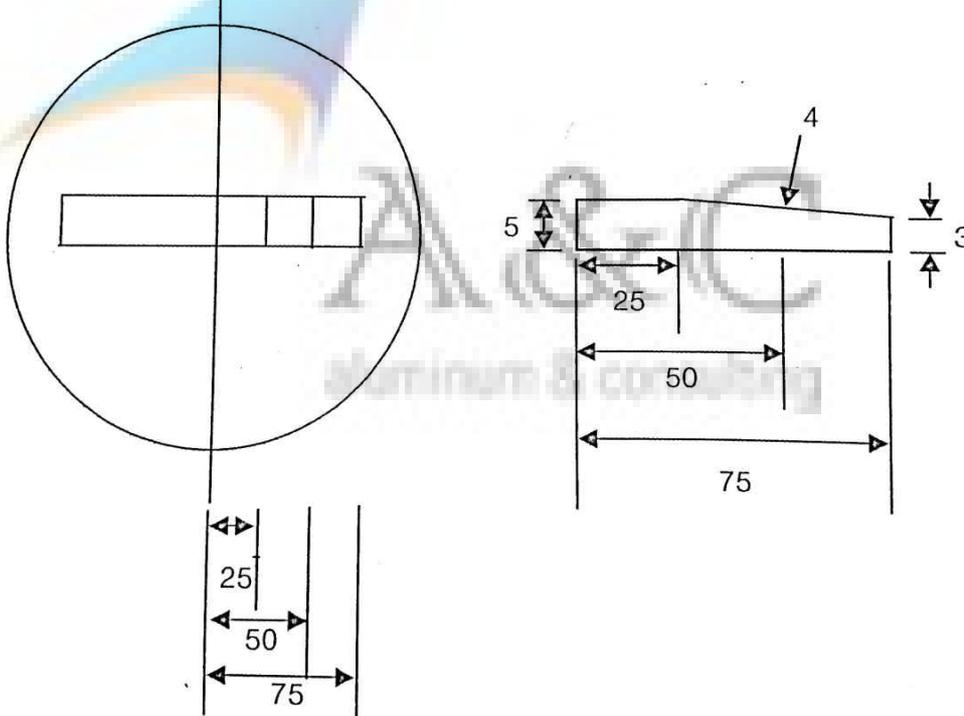
Container내의 Metal Flow방향은 Dies Hole에 따라 달라지지만 일반적으로는 Container의 내벽과 Billet과의 마찰에서 Billet 중심부가 빠르고 Billet의 외주부에 가까워 질수록 Metal Flow가 늦다. 이러한 이유로 Billet 중심부에서는 Bearing을 길게하고 Billet 외주부에 가까워 질수록 짧다. 또 두꺼운 부분과 얇은 부분이 있는 단면 형상의 경우 두꺼운 부분은 얇은 부분보다 Bearing을 길게하고 Metal Flow가 같도록 한다.그러나 Dies설계, Container온도, Billet온도, Dies온도 등의 조건을 모두 적절하게 한다해도 양호한 압출형재를 얻을 수 없는 경우가 있다. 이러한 경우 균형을 잡는 방법으로 일반적인 것은 베어링의 길이 및 베어링면의 쇼크, 릴리프의 수정이 있다.

제품의 두께	최소 Bearing 두께	1"(25.4mm)당 Bearing두께 증가량
0.8~1.3	2.2	0.5
1.4~2.2	2.5	0.7
2.3~3.0	3.0	0.8
3.0~4.0	3.5	1.0
4.0~5.0	4.0	1.0

Bearing 길이 설정법

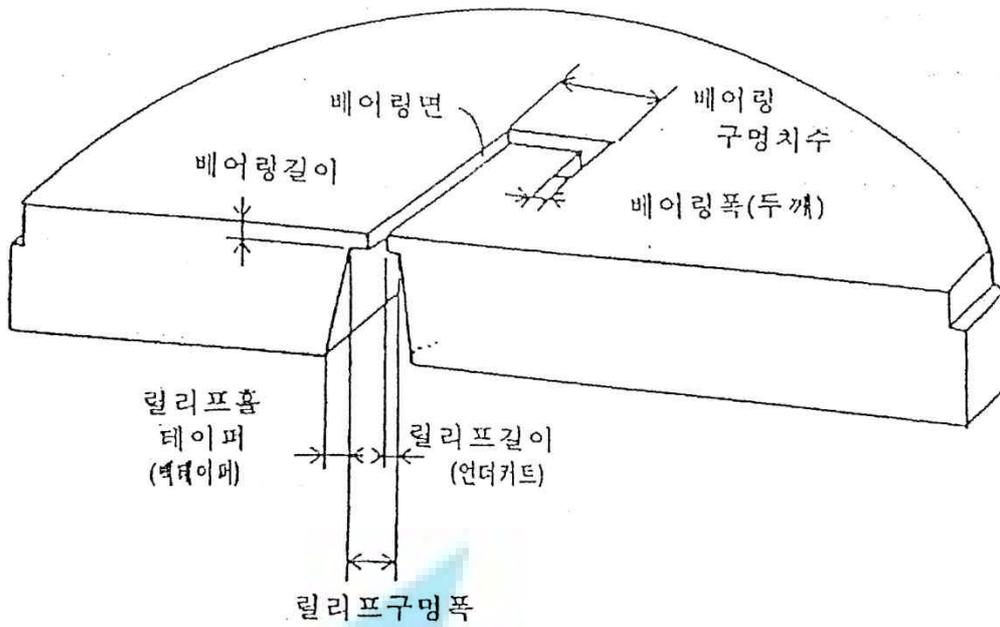
단위(mm)

예) 150w x 5t의 경우

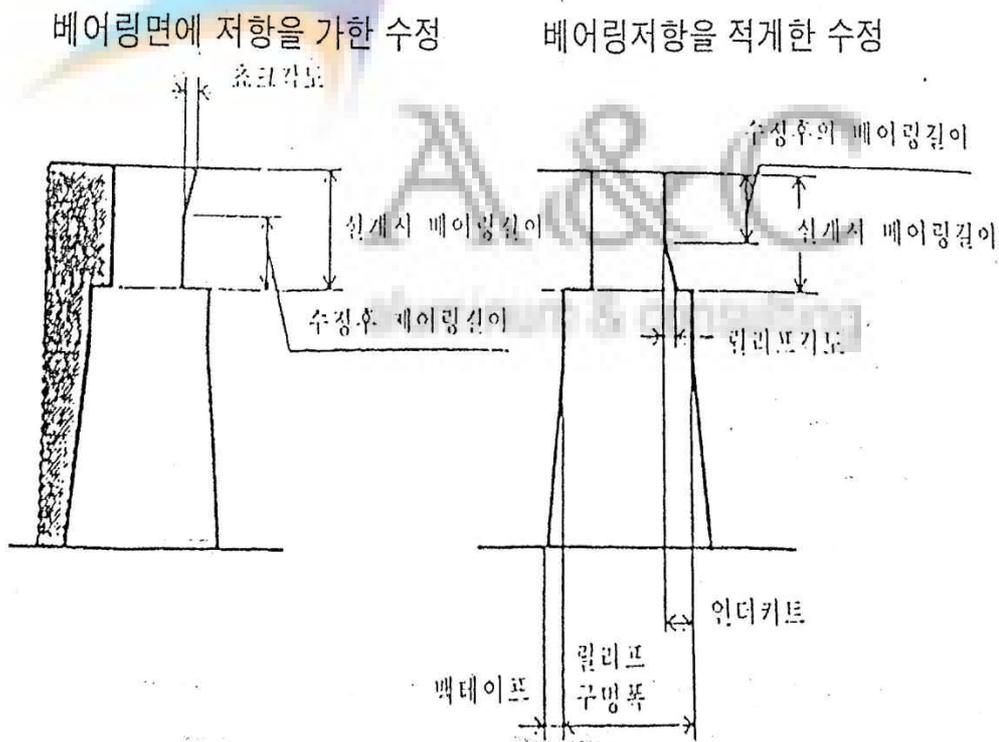


Hollow Dies의 Bearing 설계

Hollow Dies는 옹형(雄形, Mandrel), 자형(雌形)의 Bearing Balance가 중요하다.두께가 얇은 형재용 Dies는 압출중에 흔들리고 휘어지는 것을 고려하여 설계하지 않으면 안된다. 옹형(Mandrel)의 Bearing 길이는 자형보다 0.3~1.0mm 길게한다.



Flat Dies (Solid Dies)의 단면형상

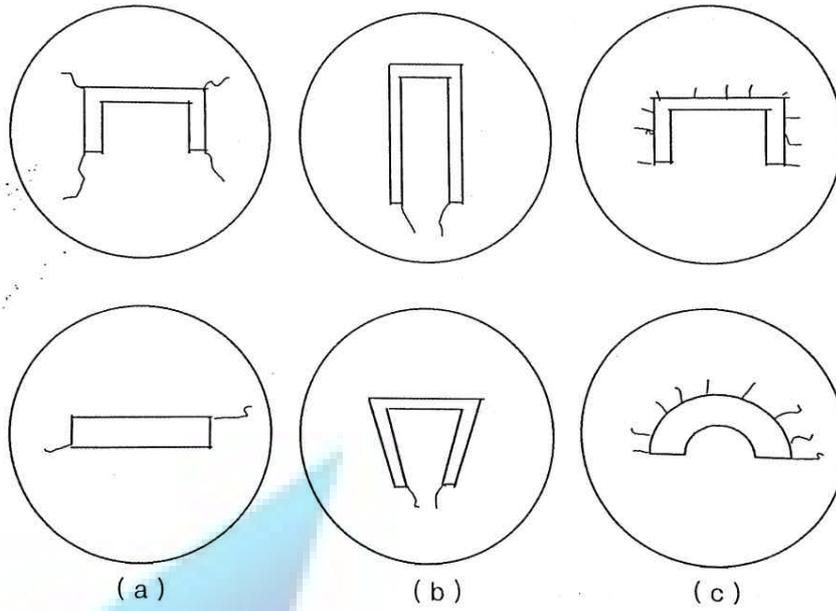


Bearing면의 쇼크 및 릴리프 수정

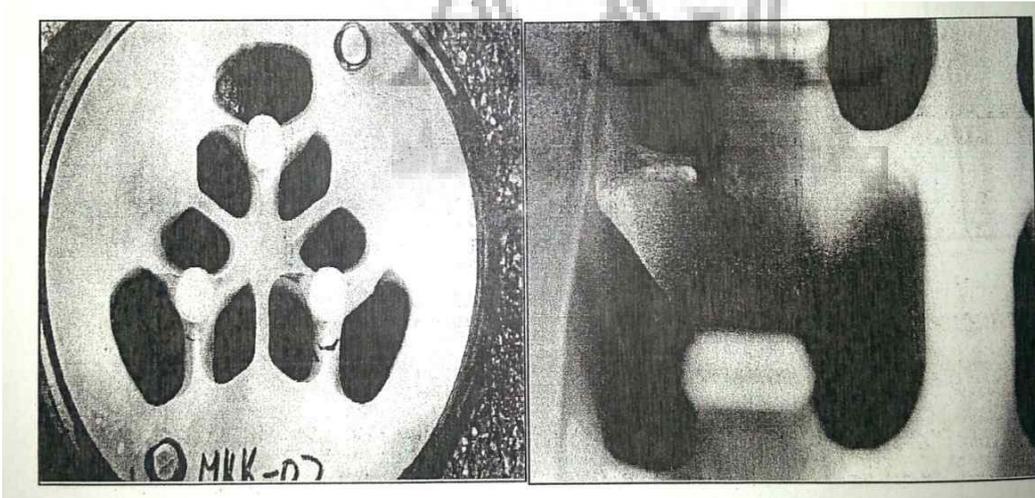
5.10.6. 압출 dies 균열

5.10.6.1. 균열의 종류

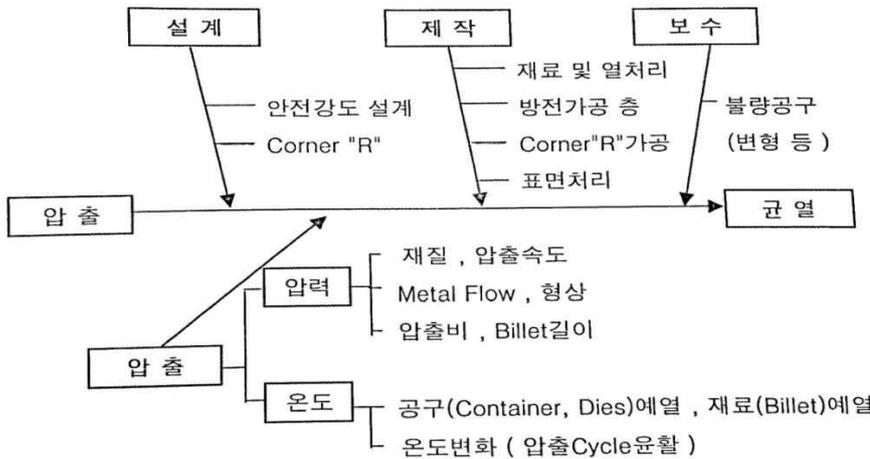
(1) flat dies (solid dies) 균열형태



(2) hollow 균열형태



5.10.6.2. 균열의 발생요인

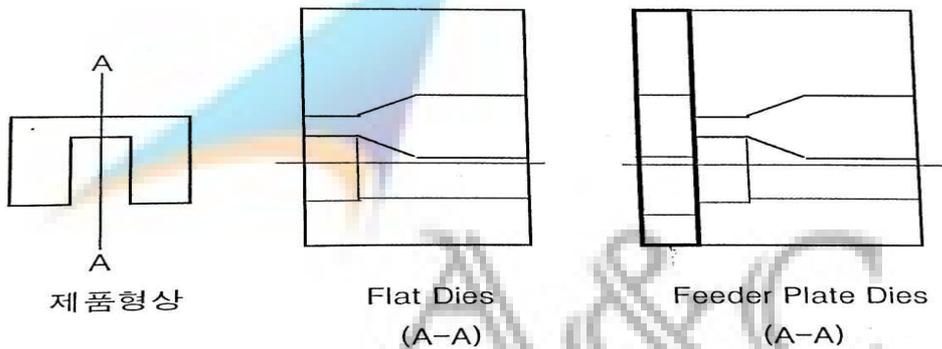


5.10.6.3. 균열의 대책

(1) Flat Dies (Solid Dies)

Corner부분의 균열에 대하여 Feeder Plate를 이용하여도 유효한 경우가 많다.

이 형상은 전체의 재질에 적용되는 것은 없고 총 압출력에 여력이 있는 경우에 유효하다.



Feeder Plate부분이 압력을 분담하는 것이 Dies 입구부분의 Metal Flow를 수정하는 것 보다 결과적으로 Dies내 발생응력을 감소한다. 또한 압출 완료후에도 Die와 재료가 접촉하고 있기 때문에 온도의 변화를 완만하게 할 수 있는 장점이 있다.

단점은 압출재의 표면을 나쁘게 하기 쉽고, 압출 속도를 저하시키는 경향을 나타내며, Dies 형상이 복잡하게 되는 경우가 있다.

(2) Hollow Dies

- Mandrel 근원부(根元部)의 균열에 대한 Port 입구축을 크게 하고, Taper형태의 Mandrel형상으로 후단(後端)에서의 압력을 경감 하는 것이 유효하다.

이것은 압출초기에 작용하는 압출 압력이 급격히 Dies응력의 최대치로 되지 않으며, 후반부의 Dead Metal 생성영역이 작게 되기 때문일 것이다.

- Port부분의 균열에 대해서는 내압(內壓)으로 발생하기 때문에 외각치수의 증대 라든지 보강Ring의 사용이 유효하다.

Dies 균열은 발생하는 응력과 온도변화에 의한 것으로 알려져 있다.

압출시의 응력상태를 추정하면 알루미늄 압출온도가 비교적 낮기 때문에 열피로(熱疲勞)등의 영향은 그다지 필요하지 않고, 응력의 영향은 규칙이 없기 때문에 어렵다고 생각된다. 응력해석은 처리가 복잡하기 때문에 적용이 어렵고, 현재의 경험적 설계와 함께 간편하게 설계 할 수 있는 기술개발이 필요하다.

일단은 공구재료의 성능향상이 필요하다. 고온강도, 인성, 내마모성이 우수한 재료의 개발과 함께 가공 및 관련기술이 요구된다.

5.11. 불활성(질소)가스를 사용한 알루미늄 압출방법

(ALR PRODUCTS 자료)

1) 개요

알루미늄 압출시 생산성 향상, 품질향상, 다이수명 증가를 위한 불활성가스를 사용한 알루미늄 압출기술 개발은 1980년대초 부터 현재까지 지속적으로 개선, 사용되고 있다. 이러한 유용성들은 우선적으로 질소의 냉각효과와 Die Opening 근처에서의 초과 열 제거 덕분으로 생각되어 진다.

2) 이점

- 생산속도(압출속도)의 증가 : 10~40%
- 표면 품질개선
- 치수 품질개선
- Die수명 증대
- Dies 교체시간 감소
- 불량률 감소 및 회수율 향상 : 5~15%

3) 작업 및 사용 방법

Die부위에 질소(기체 또는 액체)을 주입하여 산소를 포함하는 공기를 이 부위에서 몰아냄으로써 Bearing 가장자리에 산화물이 형성되는 것을 방지하는 방법이다. 질소의 두번째 주요한 효과는 질소가 Die와 압출물을 냉각 시킨다는 점이다.

마찰과 Billet의 변형에 의해 발생하는 열을 압출물의 표면품질에 유해한 영향을 끼치고, 압출속도를 저해하는 요인이 된다.

질소의 냉각효과와 불활성인 성질에 의하여 표면품질의 악화 없이 속도를 증가시킬 수 있다.

현재에 압출에 사용되는 질소주입 방법은 다음의 세가지 방법이 있다.

- (1) Die Ring을 통한 다음 Backer와 Die의 접촉면을 따라 주입.
- (2) Bolster를 통한 다음 Bolster와 Backer의 접촉면을 따라 주입.
- (3) Canister(흑연 또는 황동통)를 통한 주입 또는 Platen의 분배링을 통한 주입.

세가지 주입방법 모두 알루미늄 압출에서 성공적으로 사용되고 있다.

가장 이상적인 방법은 Die Ring을 통한 주입방법이다. 이는 주입지점이 Bearing에 가깝기 때문에 질소가 Die로부터 더 많은 열을 제거할수 있고, 또 효율적으로 공기를 몰아낼수 있기 때문이다.

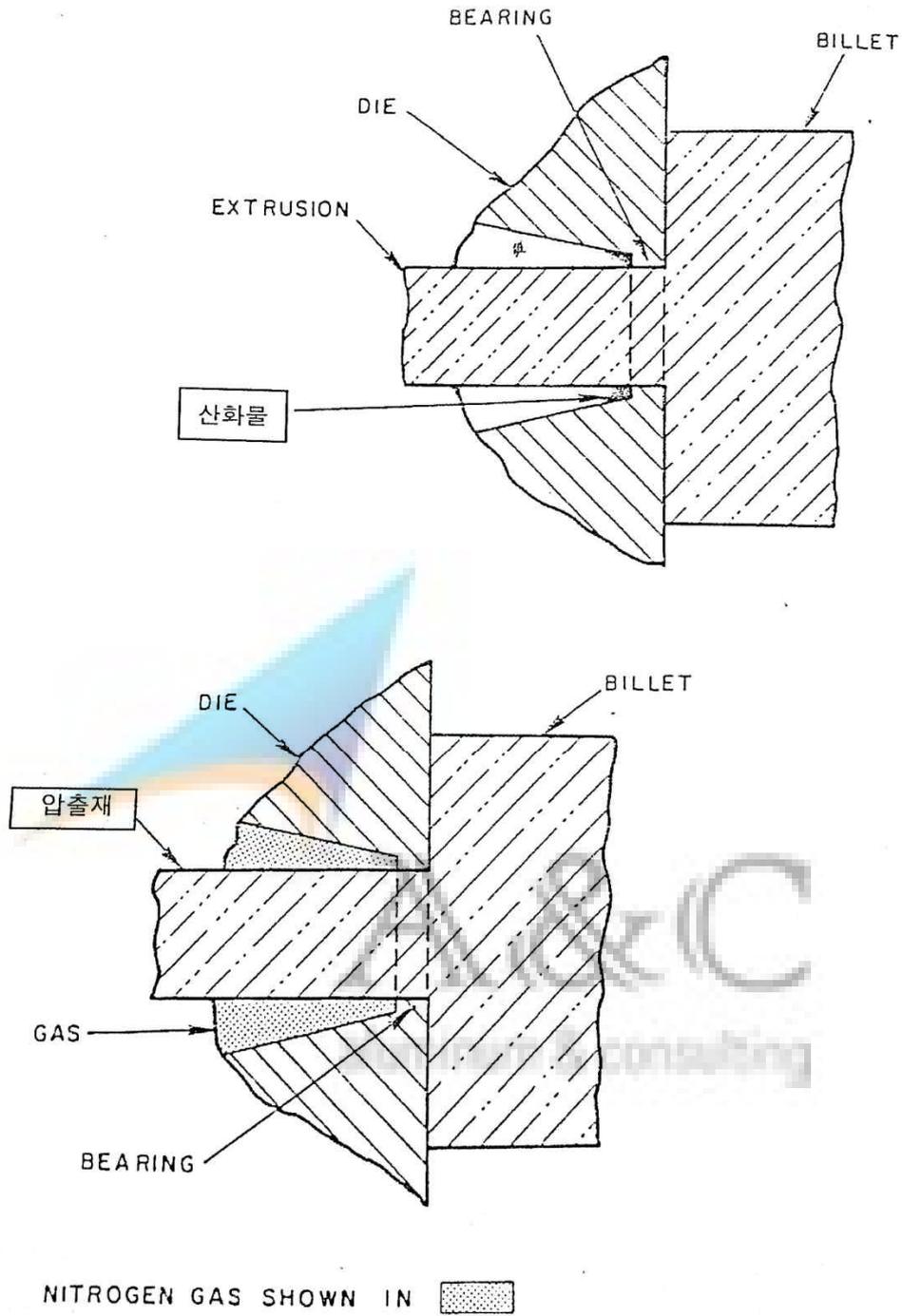


그림93. 질소로 덮여있는 Die주위의 형태

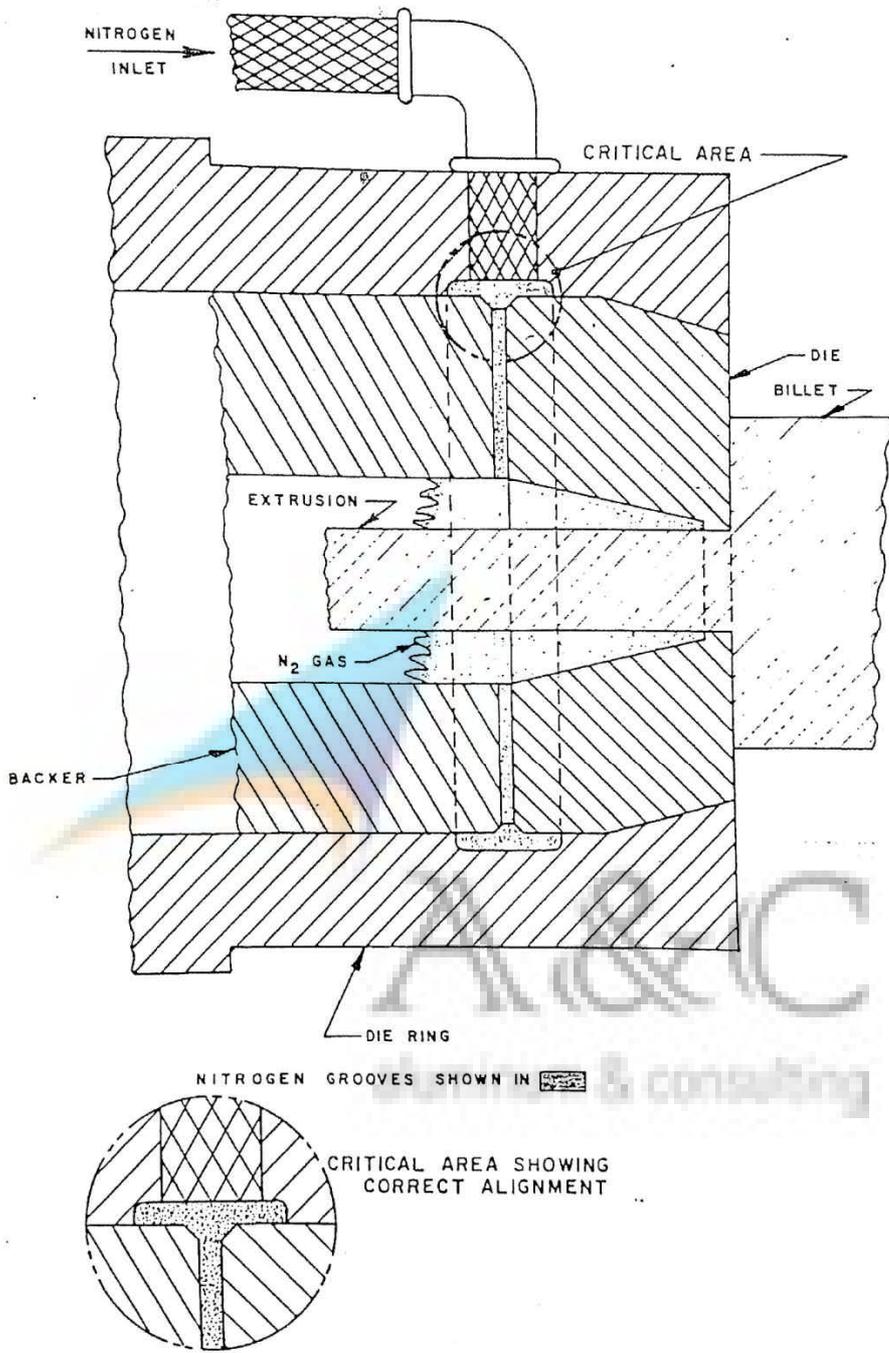


그림94. 질소로 덮여있는 Die주위의 상세도

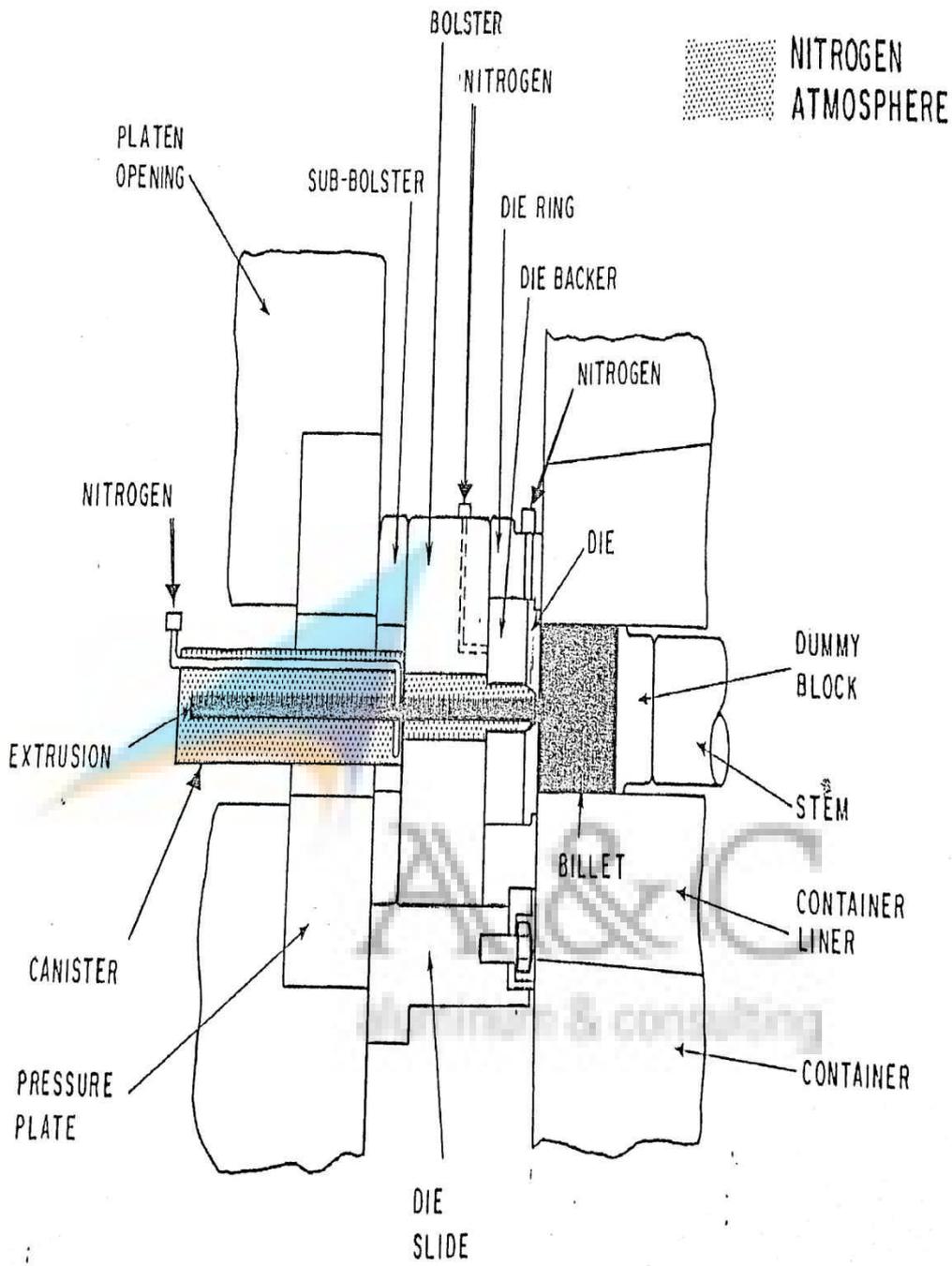


그림95. 여러가지의 질소가스 주입방법 개략도

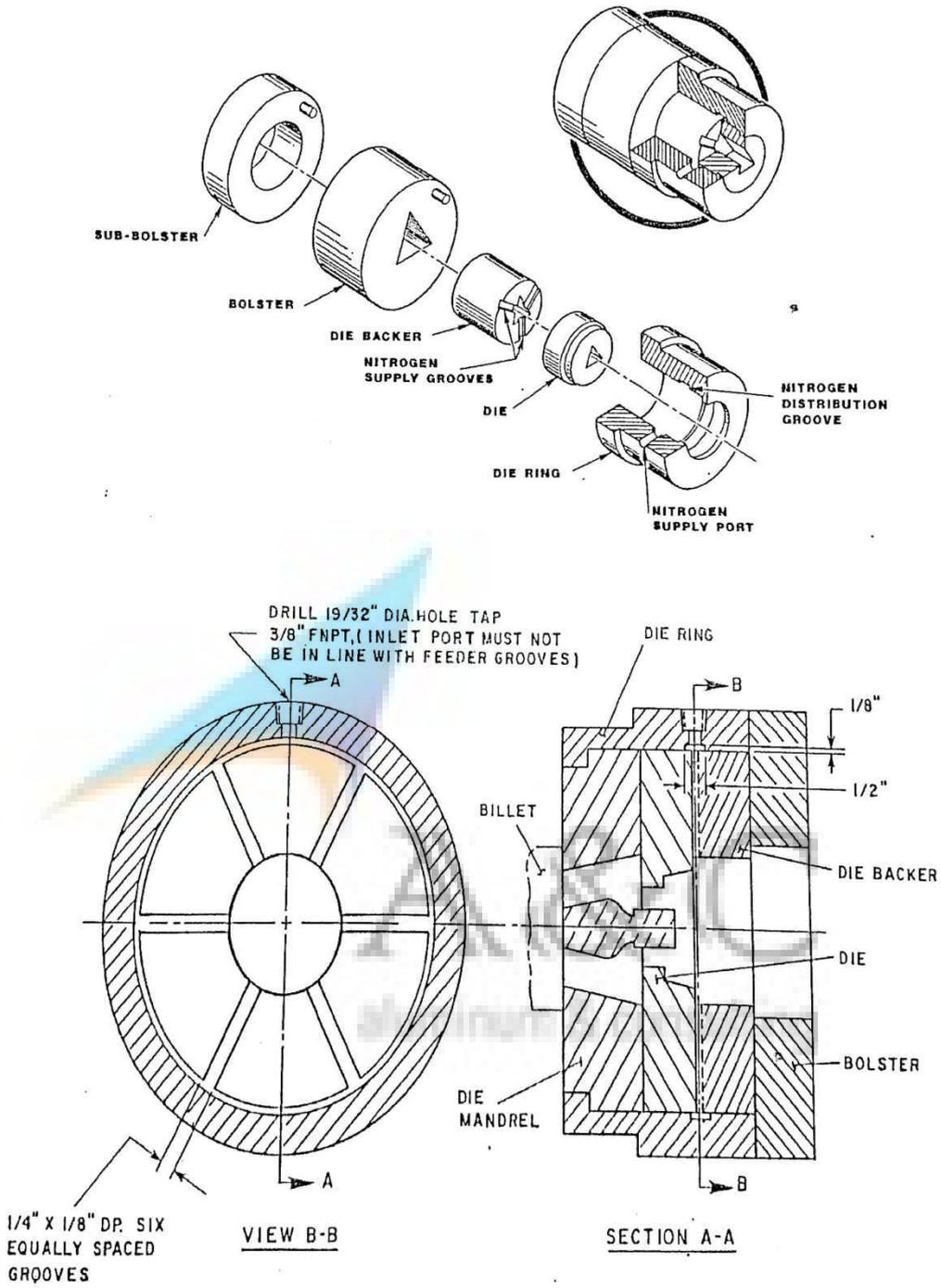


그림96. Die Ring을 통한 다음 Backer와 Die의 접촉면에 주입방법

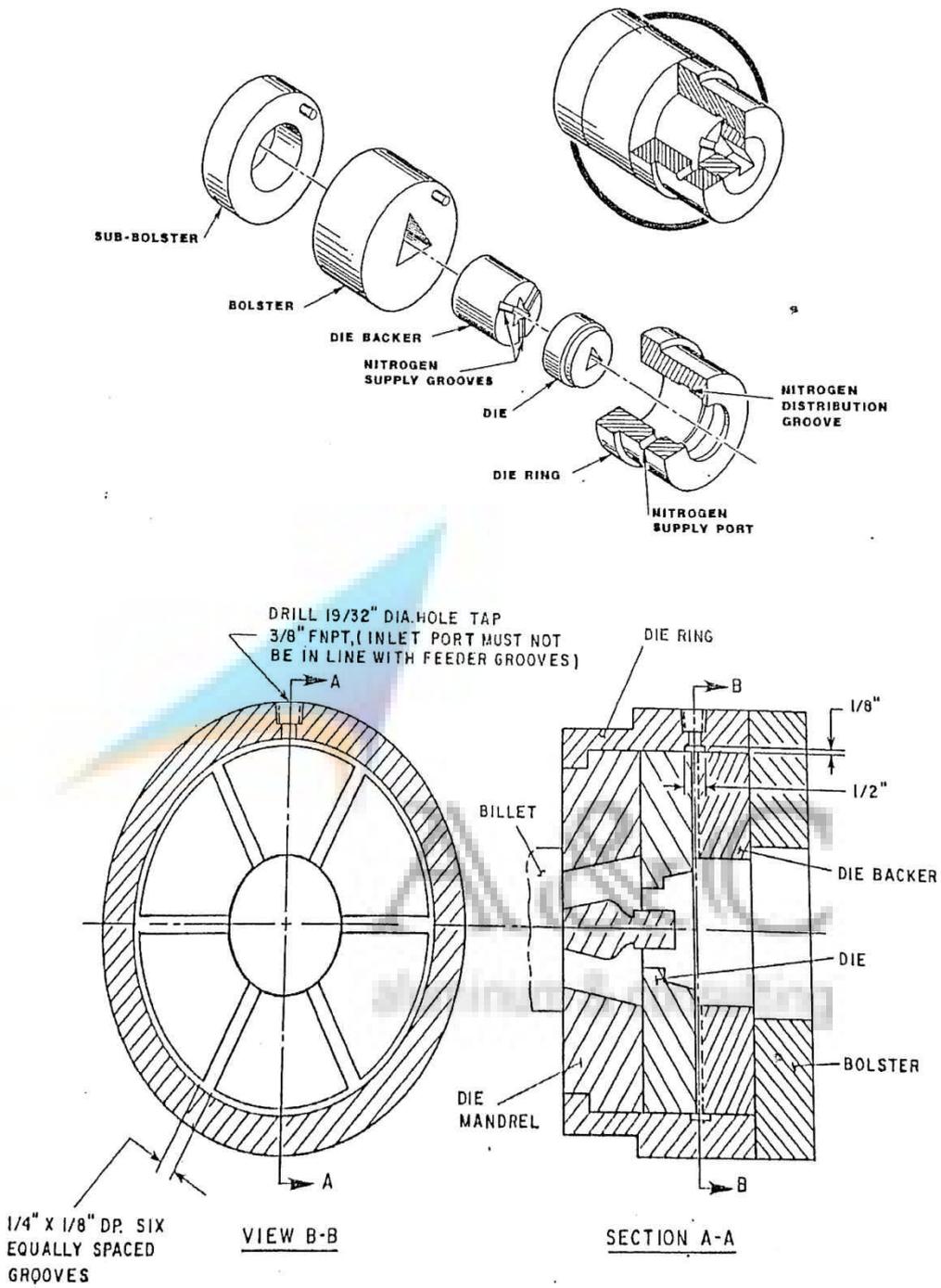


그림97. Bolster를 통한 다음 Bolster와 Backer의 접촉면에 주입방법

NOTE: This design can be used where clearance between O.D. of canister and inside of press is not restricted. This nitrogen injection ring can be fixed to the inside of press and used on extrusions that do not require a guiding canister. When not used with a canister the extrusion configuration will determine the I.D. of tubing ring.

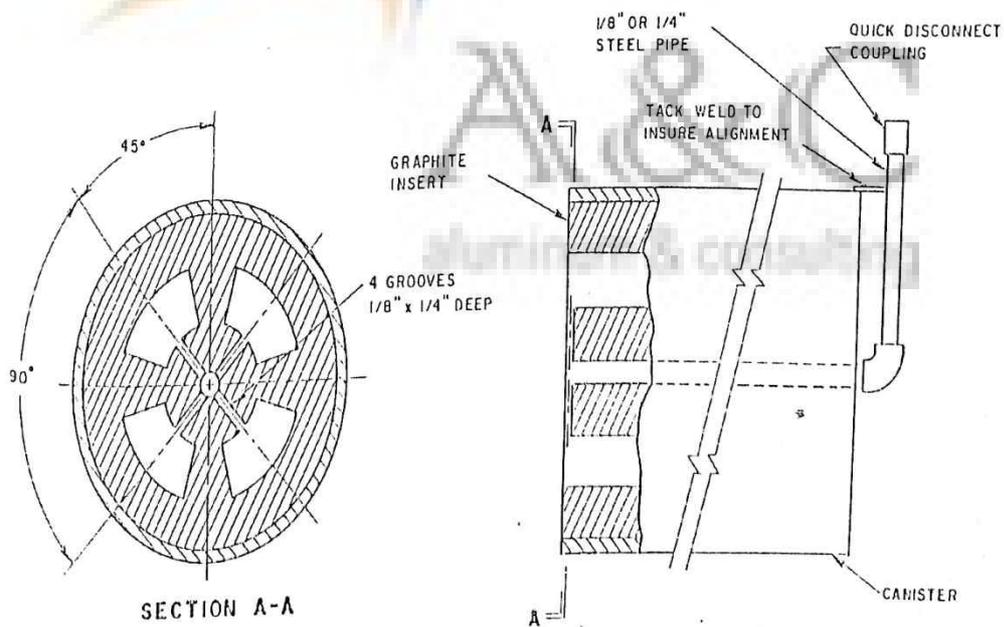
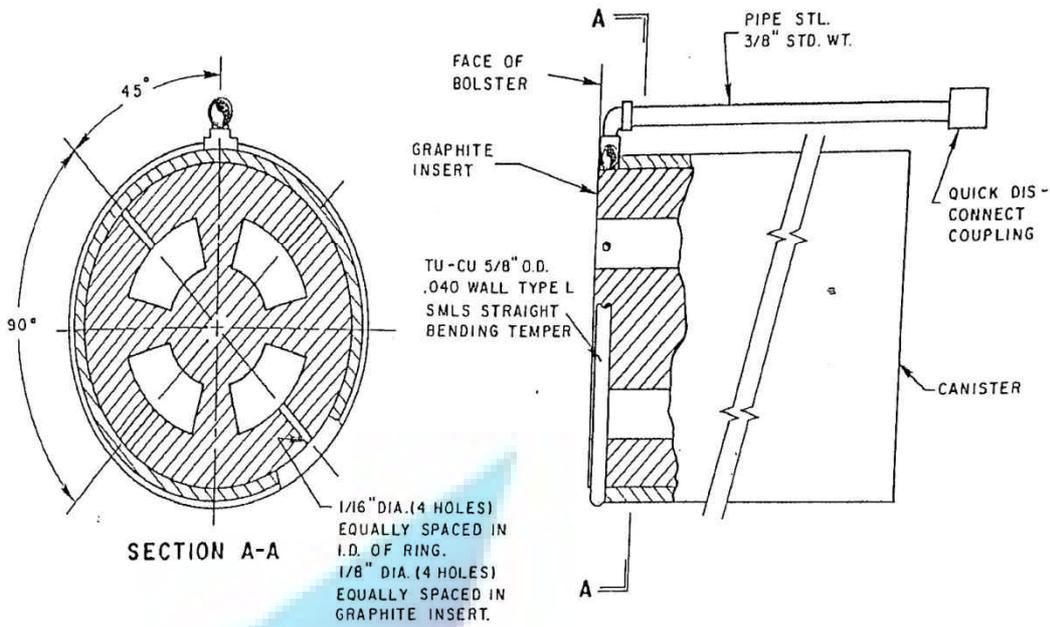


그림98. Canister를 통한 주입방법

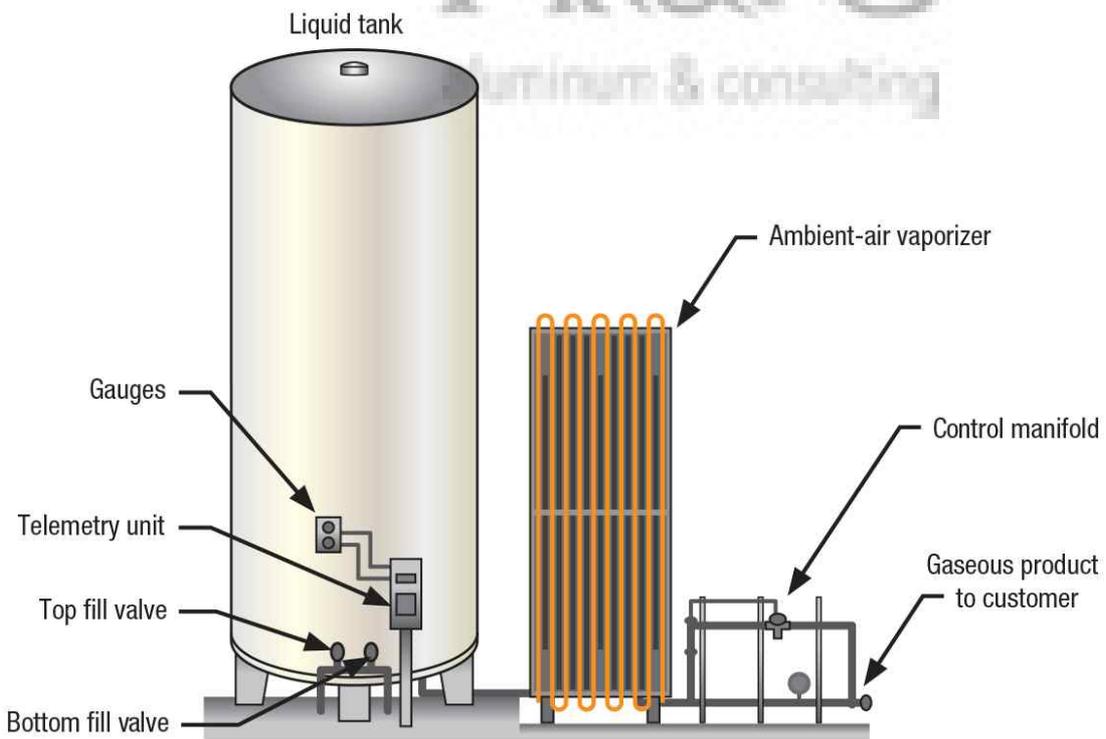
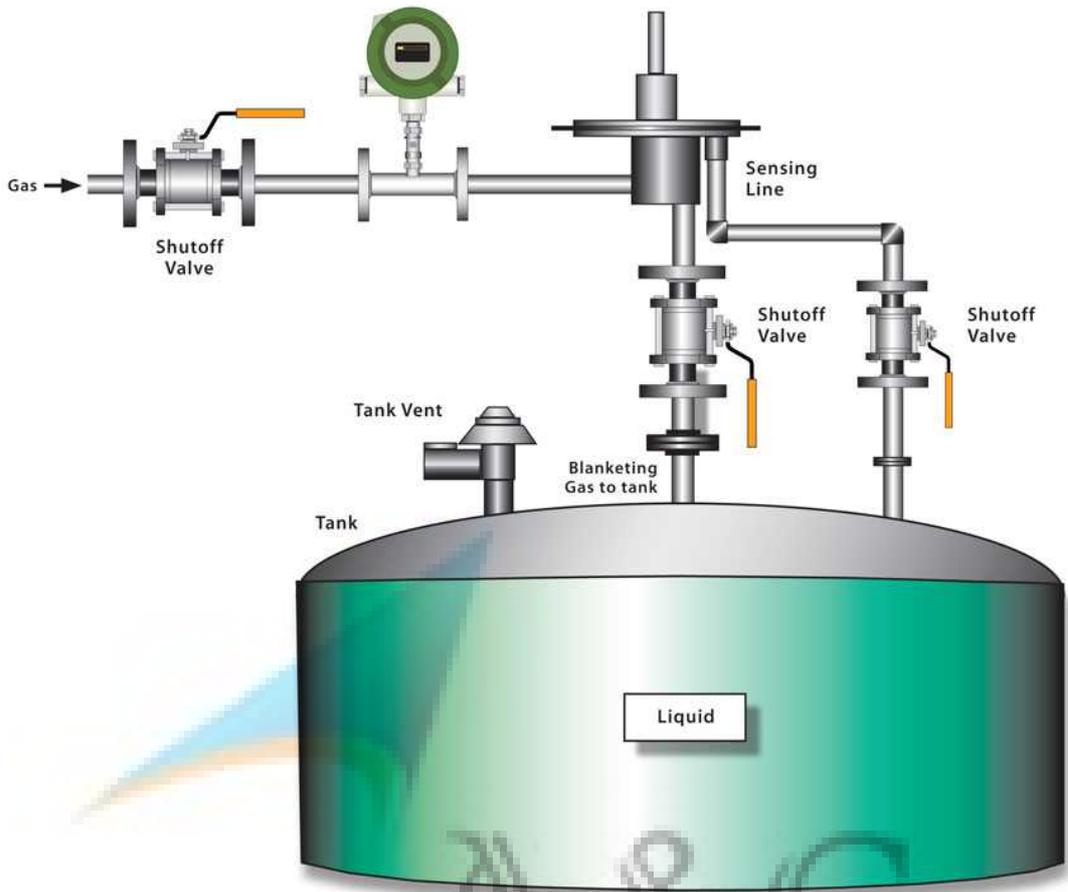


그림100. 액체Tank 설비의 개략도

6.인발 (引拔,cold drawing)

6.1.인발의 종류

6.1.1.봉인발(bar,wire drawing)

봉과선의 인발이다. 단면형상은 원형 이외에 각과 또 다른 모양을 만든다.

6.1.2.공인발(외경관인발,sinking,hollow sinking drawing)

관의 내부에 플러그를 사용하지 않는 인발방식으로 공인발이라 부르며, 외경 쪽을 축소한다. 이 때문에 인발 후의 살두께는 그다지 변화하지는 않는다.

6.1.3.플러그인발(내외경인발,plug drawing)

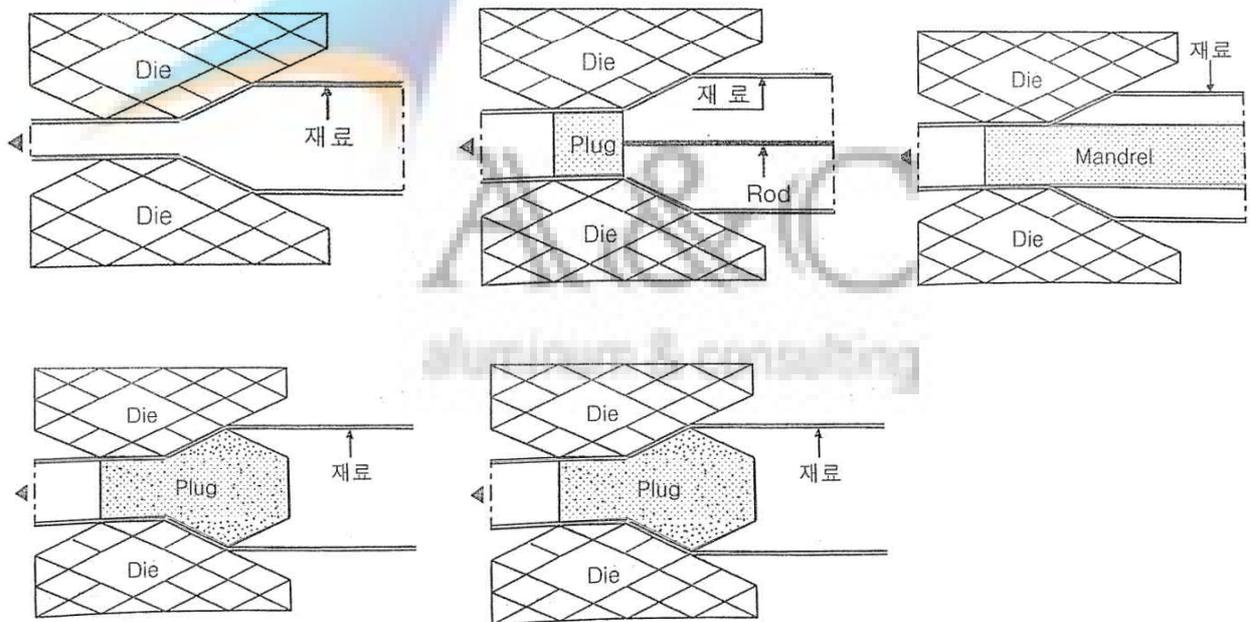
Plug를 지지봉 선단에 부착하여 정밀한 Tube를 인발할때 적용한다.Plug를 고정하기 때문에 직경이 작은관에는 불리하지만 관의 내면이 깨끗하게 된다.Plug와 Die는 강 또는 초경합금이 사용된다.

6.1.4.맨드렐인발(내외경인발,manrel drawing)

길이가 긴 Mandrel Bar를 사용하여 외경과 두께를 감소시키는 방법으로 Die를 통과하여 mandrel bar 와 같이 이동한다.두께가 작은 관이라든지, 작은 관의 인발 작업에 사용되며, 인발율을 크게 줄일 수 있다.또한 Tube직경이 비교적 작아서 Plug와 지지봉이 파손될 염려가 있을때 사용한다.

6.1.5.플로팅 플러그 인발(내외경인발,floating plug drawing)

관의 외경과 두께를 동시에 감소시키는 방법으로써 Plug는 지지봉에 고정되어 있지 않아 길이가 길고 작은관에 적합하다.

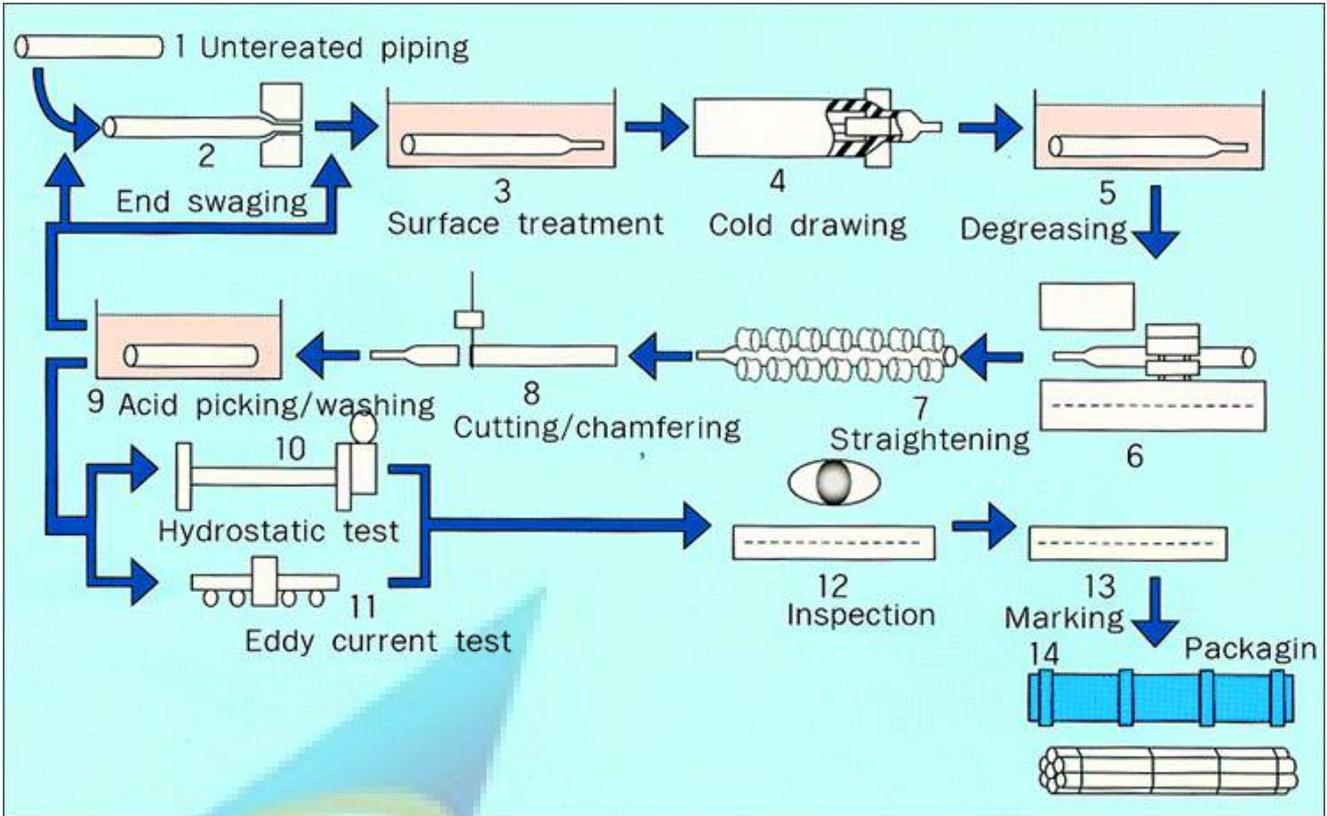


6.2.인발율

사용 용도에 따라서 소재와 최종치수, 인발기의 용량들을 고려하여 결정하게 되며,보통 연질합금인 경우에는 1회의 단면 감소율을 35~50%,경지합금에서는 20~30%정도 가능하다.사용 용도에 따라 1회 또는 수회 인발가공이 가능하며 수회 인발시에는 중간 공정 마다 소둔(Annealing)처리를 하여 가공경화를 제거해야 인발가공이 가능하다.

$$\text{인발율(\%)} = \frac{\text{인발전 단면적} - \text{인발후 단면적}}{\text{인발전 단면적}} \times 100$$

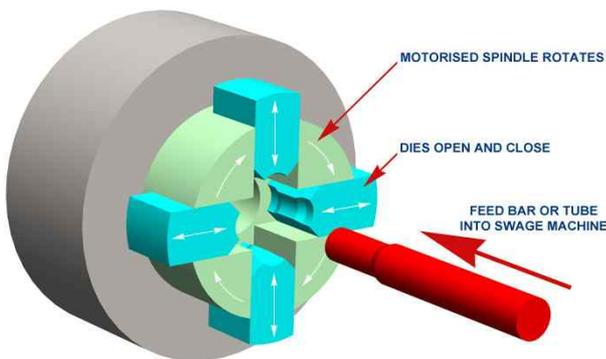
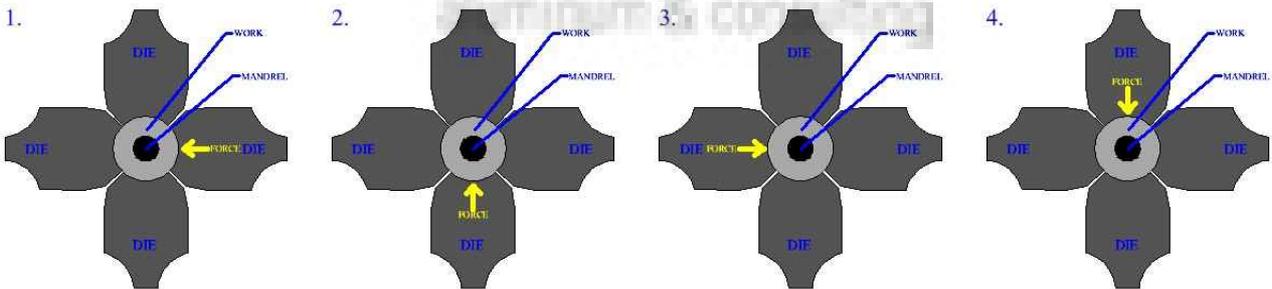
6.3.인발공정 및 layout



6.3.1.스웨이징(Swaging&pointting)

인발 시작부위를 아래와 같은 모양으로 가공한다. 스웨이징 부위의 길이는 Dies를 통과하여 Carriage Jaw에 물릴 수 있을 정도로 설정한다.

SWAGING OPERATION

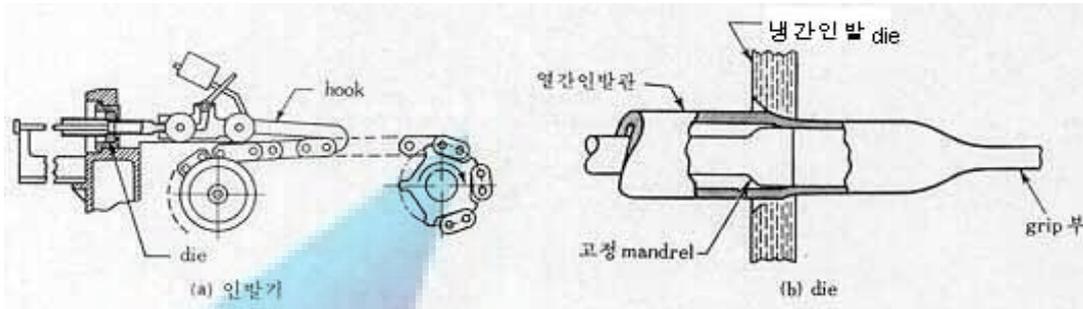


6.3.2.인발유도포(surface treatment)

인발에 있어서 인발유의 선택이 매우 중요하다.인발유는 Die의 마모를 방지하고 마찰 손실을 적게 하여 인발제품의 표면품질을 좋게 한다.일반적으로 인발속도가 빠르고 연질합금의 경우 점성이 낮은 인발유를 사용하고, 반대로 인발속도가 늦고 경질합금인 경우 점성이 큰 인발유를 사용한다.

6.3.3.인발 (引拔,cold drawing)

인발은 경사진 구멍을 가진 Dies를 통하여 재료를 당겨 단면적을 감소시켜서 원하는 치수와 강도를 얻고자 하는 소성 가공법이다.재료의 변형은 Dies안에서 일어나고 다른 소성 가공법에 비하여 비교적 균일한 변형이 된다.인발은 실온에서 행하는 것이 보통이지만 고온에서 행하기도 한다.인발한 최종 제품의 지름에 따라 $\Phi 6\text{mm}$ 이하의 제품을 신선(wire drawing,伸線)이라고 한다.치수정도가 좋고, 표면이 매끄러운 광택을 내는 제품을 얻게 된다. 또한 기계적성질, 피삭성도 인발을 반복하는 것에 따라서 개선 될 수 있다.



6.3.4.교정(Straightening)

압출 및 용체화처리후 발생된 변형(진직도, 진원도, 비틀림등)을 잡고 가공 및 열처리시 발생된 재료 내부의 잔류응력을 감소시키기 위함이다.

6.3.4.1.롤 교정(roll straightening)

변형된 Bar(육각봉,사각봉,환봉)와 파이프 그리고 형상제품의 진직도,진원도,비틀림등을 향상시키기 위한 가공법이다.엇갈리게 배열된 Roller의 사이를 통과하면서 교정을 한다.

6.3.4.2.Roller 교정기

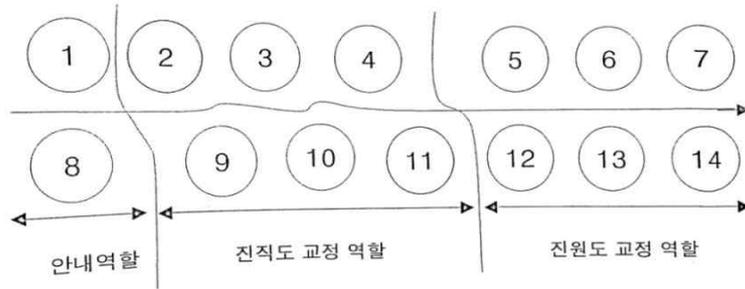
일반적으로 파이프에는 진직도 및 진원도를 향상 시키기 위하여 여러 개의 Roller가 필요하지만 환봉의 경우에는 진원도가 인발공정에서 결정이 됨으로 진직도 교정을 위한 Roller만 필요하다.다룰 교정기에서 환봉을 교정할경우 교정은 가능하나 불필요한 진원도의 Roller에의해서 Roll Mark등의 외관 결함을 유발할수 있다.

6.3.4.3.다룰교정기(Horizontal Type 14Roll교정기 기준)

다룰 교정기는 최소한 4개 이상의 Roller를 가지고 있으며, 주로 파이프의 교정시 진직도 및 진원도를 개선하기 위하여 사용한다.

6.3.4.4.천조형 교정법

Roller를 피 교정재의 외경 치수에 1/2로 하여 우측 Roller No.1으로 부터 No.14까지 순차적으로 전진시켜 조정한다.피 교정재의 변형 정도와 경도의 차이에 의해 Roller가 Setting되며 특히 Roller를 과압하면 나선형의 Roll Mark가 발생하기 때문에 고도의 Setting 기술을 요한다.일반적으로 두께가 얇은 파이프의 교정은 아래의 그림과 같이 교정재다 Roller사이에서 회전하며 전진할때 Roller로 부터 파이프의 굴곡된 부분에 반복적으로 탄성한도이상의 응력이 작용됨으로써 교정된다.특히, Setting방법에 있어서 피 교정재의 변형정도에 따라 Roller의 각도와 간격 그리고, 교정속도의 조절이 매우 중요하다.일반적으로 굴곡이 심한 제품은 교정속도를 느리게 하는 것이 바람직하다.



6.3.4.5. 인장 교정 (Strech Staighting)

압출 및 인발공정후 열처리시 변형된 봉,관,형재등을 바르게하고,가공 및 열처리시 발생된 잔류응력을 감소시키기 위한 작업 방법이다.양쪽에 Jaw를 이용하여 소재를 chucking한 다음 진직도, 비틀림 등을 인장하여 교정하고, 잔류응력 제거를 위한 Stretching은 약1.5~3.0%를 신장하고 있으나,합금 별,Temper별에 따라 Stretching율을 달리할수 있다.Strechting은 Roll교정 방법과는 달리 인장에 의해서 교정하는 방법으로 치수의 변화폭이 커서 정밀치수를 관리하는데 많은 어려움이 있다.



6.3.5.절단 (cutting,chamfering)

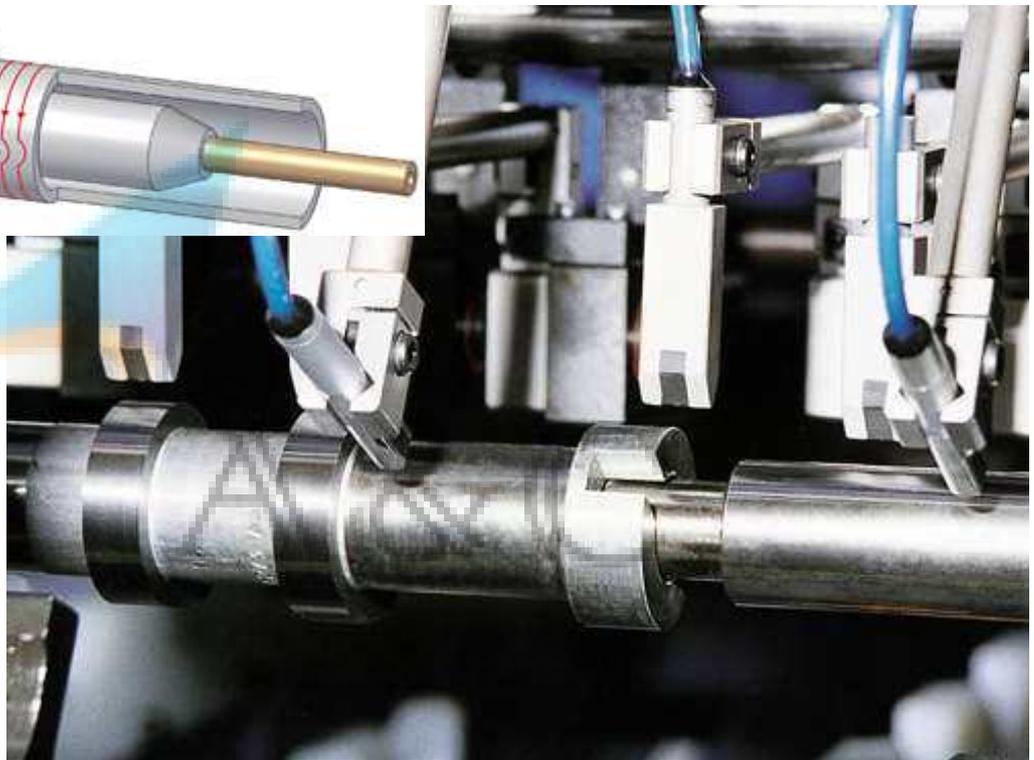
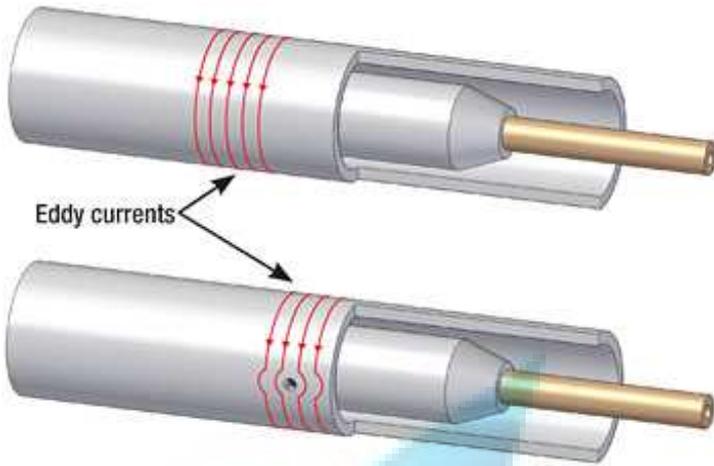
스웨이징부를 제거하고 일정한 길이로절단.

6.3.6.산세척(acid picking,washing)

인발후 표면에 도포된 인발유를 제거하는공정.

6.3.7.검사

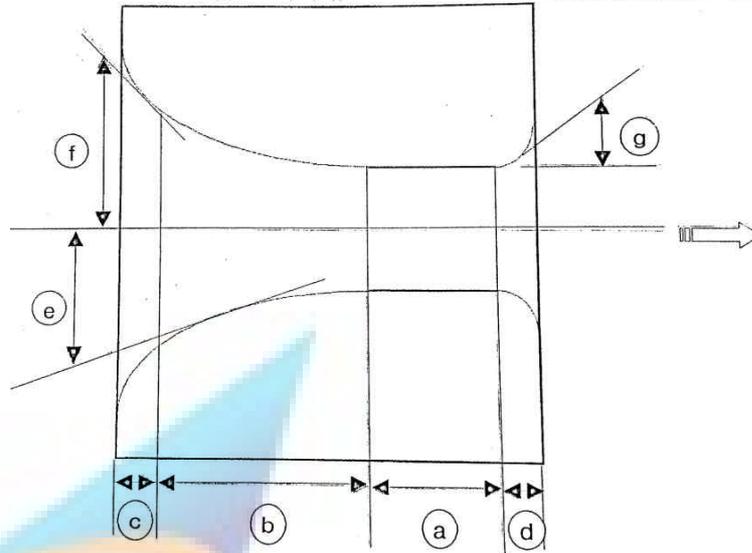
주로 진원도공차,직진도,롤자육,인발유 미세척등을 주 검사항목이다.



6.4. 인발금형 및 설계

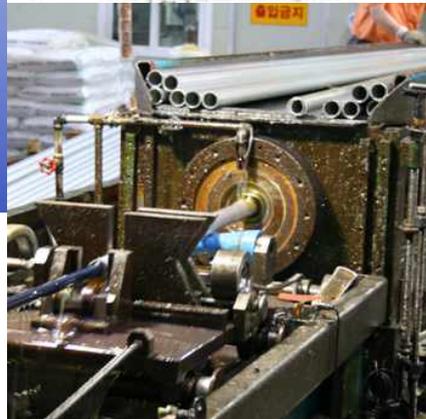
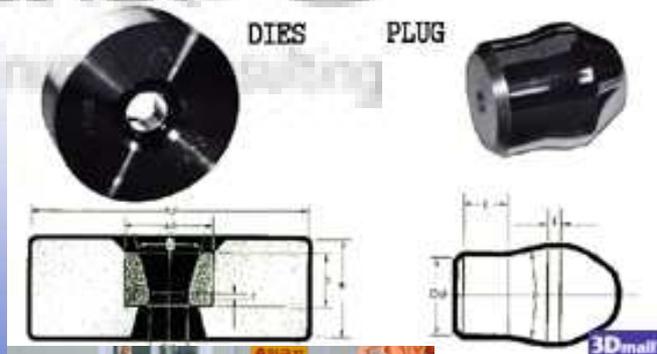
1) 인발 Die의 형상

인발Die는 도입부(Bell[Ⓢ]),안내부(Approach[Ⓢ]),정형부(Bearing[Ⓢ]),여유부(Relief[Ⓢ])등으로 구분된다.인발력에 직접적인 영향을 주는 인자는 Bearing의 길이와 Approach의 각도(θ)이다.Bearing의 길이는 대략 직경의 1/3정도 이고 짧을수록 인발력은 감소하지만 탄성회복(SpringBack)현상에 의한 치수편차가 증가한다. 반대로 길수로 치수편차는 감소하고 인발력은 증가한다



2) 주요 치공구

- Die 및 Plug의 재질 : SKD-11, W(Tungsten)
- Rod : S45C SCM3
- Carriage Jaw : S45C



8. 단조(鍛造, forging)

단조는 금속에 외력을 가하여 형상을 변형시키는 가장 오래된 성형(成形) 방법 중의 하나이다. 오랜 옛날부터 사람들은 금속을 가열(加熱)하여 해머(Hammer)와 앤빌(Anvil)을 사용하여 금속을 두들겨서 공구와 무기, 그리고 그들이 필요로 하는 도구를 만들어 사용하여 왔다. 오늘날의 단조는 광범위한 금속 가공 방법 중의 하나이며 현존하는 고대 예술이라고 할 수 있다. 단조품을 사용한 제품은 새로운 금속의 발견과 합금의 개발에 따라 이들을 사용하기 위한 새롭고 더욱 개선된 단조 공법과 장비의 개발에 의하여 공업으로서의 그 위치를 확보하게 되었다. 특히 자동차 산업의 발달로 인하여 보다 가벼우면서 기계적 성질이 우수한 금속 제품이 보다 싼값으로 공급되어야 하는 시대를 맞게 됨에 따라 단조 산업은 급속도로 발전하게 되었다. 아직 자유단조 해머가 산업 기계의 하나로 남아 있기는 하지만 고 효율의 단조 기계들이 개발되고 발전되어 사용되고 있다. 그리고 자동화는 노동력을 절감함으로써 제조 비용을 절감하여 단조품의 단가를 낮출 수 있으므로 단조 공업의 여러 분야로 확산되어 가고 있다. 모든 단조 공정은 소재의 검사, 절단, 가열 등 소재의 준비로부터 시작된다. 일반적으로 예비 단조는 황지(Rough-Shaping) 단계다. (많은 경우에 예비 단조를 거치지 않고 제품을 생산하기도 함) 그 다음에 형단조(Die Forging)를 하게 되고, 대부분의 경우 그다음 단계로 트리밍(Trimming) 작업을 하게 된다. 그리고 다음 단계로는 시험, 검사, 열처리, 표면처리 등의 후공정을 거치게 된다.

8.1. 단조(鍛造)의 목적(目的)

단조의 목적은 단련(鍛鍊)과 성형(成形)에 있다. 단련이란 주조 시 발생하는 강괴의 내부 결함인 기공, 편석, 파이핑, 과대조직 등을 압착하여 결정립을 미세화하여 조직을 개선하는 작업을 말하며, 성형이란 강괴로부터 필요한 소정의 형상을 만드는 것을 말한다. 따라서 단조는 단련을 통하여 강재의 기계적 성질을 향상시키고, 성형에 의하여 소정의 형상을 만들어 후공정이나 기계 가공 공수를 절감

8.2. 단조(鍛造)의 종류(種類)

단조의 종류는 금형의 유무, 재료의 온도, 단조 기계 등에 따라 여러 가지로 분류할 수 있다. 여기서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 몇 가지 종류에 대하여 그 의미를 알아보기로 한다.

자유 단조 (Free Forging)

형 단조(Die Forging)

열간 단조(Hot Forging)

온단 단조(Warm Forging)

냉간 단조(Cold Forging)

해머 단조(Hammer Forging)

프레스 단조(Press Forging)

업셋트 단조 (Upsetter Forging)

롤 단조 (Roll Forging)

링 롤링 (Ring Rolling)

용탕단조(Liquid Metal Forging)

분말단조(Powder Metal Forging)

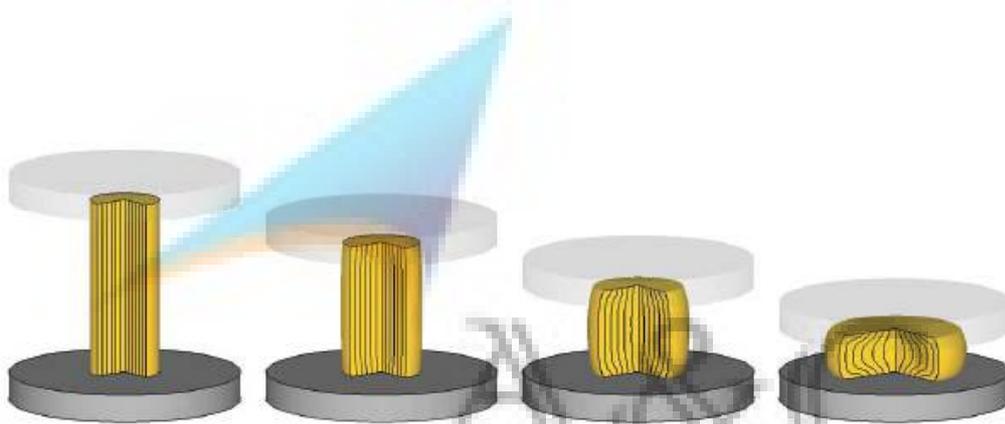
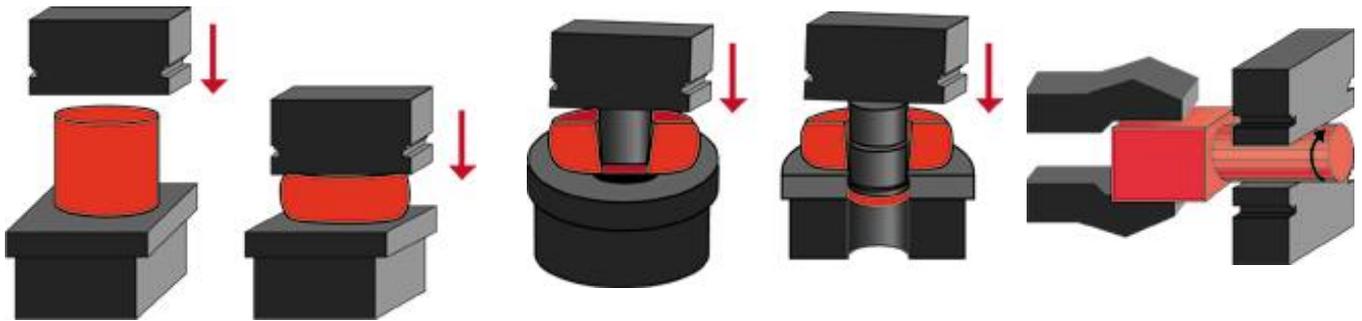
고압단조(High Pressure forging)

소결단조(Sinter Forging)

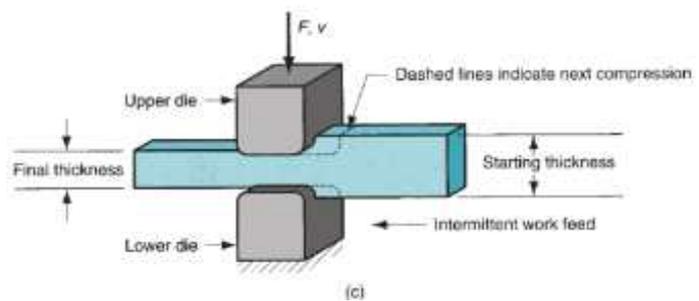
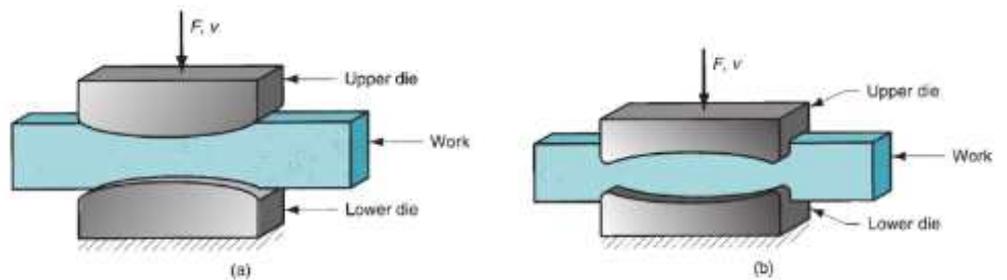
포머단조(former Forging)

8.2.1. 자유 단조 (Free Forging, 自由鍛造)

자유 단조란 특정한 금형을 사용하지 않고 성형하는 것으로 형 단조와 구분된다. 자유 단조는 금형에 의한 제약을 받지 않으므로 성형에 필요한 에너지가 형 단조에 비하여 적게 소요된다. 따라서 금형을 사용할 수 없는 대형 단조품에 적합하며, 또한 별도의 금형이 필요하지 않으므로 소형 제품의 경우에도 수량의 많지 않은 경우에 적합한 단조 방법이다. 그러나 형 단조에 비하여 작업 속도가 느리고, 치수 정도가 정밀하지 못하여 후 공정에서 절삭 가공 시 많은 시간과 비용이 소요되는 단점이 있다.

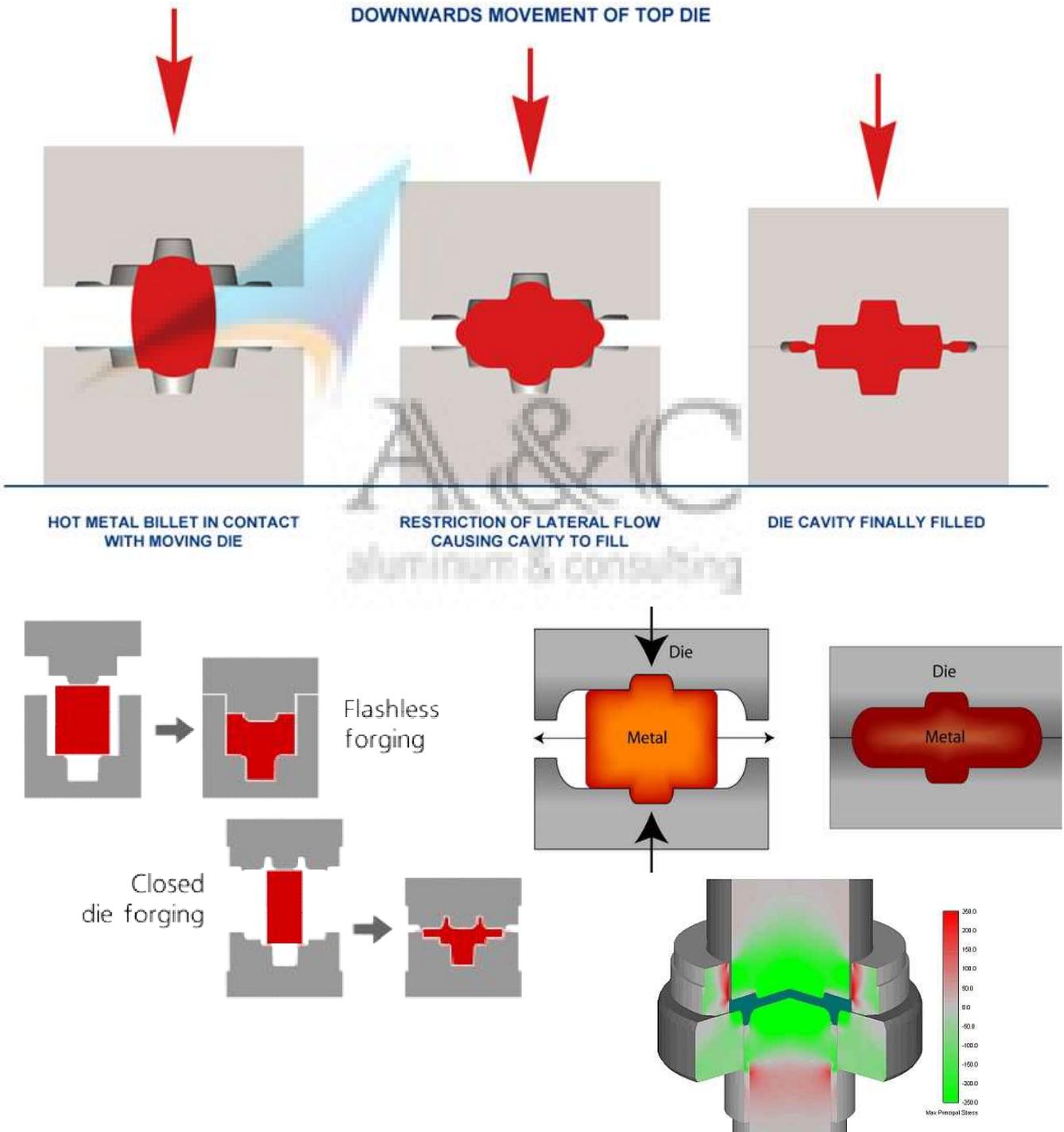


aluminum & consulting



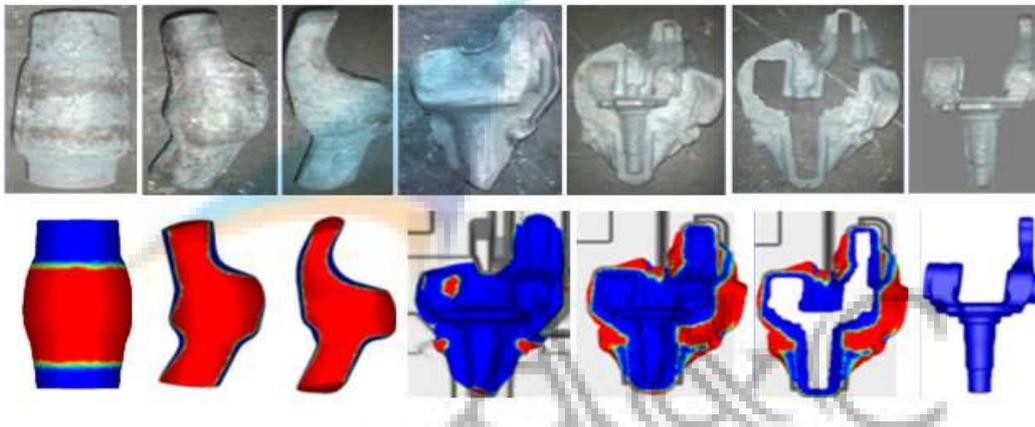
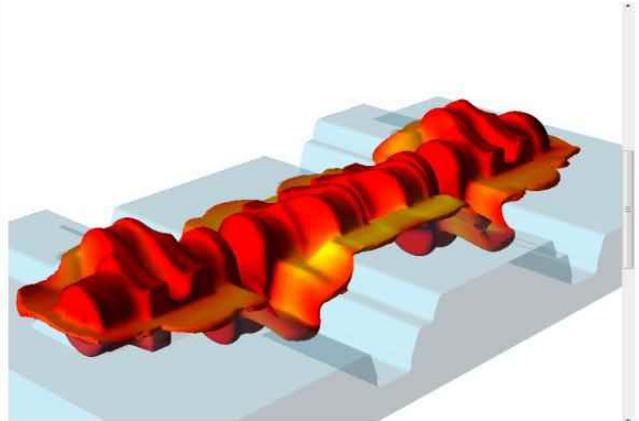
8.2.2. 형 단조(Die Forging, 型鍛造)

형 단조란 특정한 금형을 사용하여 성형하는 단조 방법으로 자유 단조와 구분된다. 형 단조는 재료를 변형시키기 위하여 많은 에너지를 필요로 하기 때문에 보통 재료의 변형 저항이 가장 적은 고온(高溫) 상태에서 성형하게 되며 이를 열간 단조(熱間鍛造)라 하며, 이에 대하여 상온(常溫)에서 성형하는 것을 냉간 단조(冷間鍛造)라 한다. 형 단조는 압연 강재를 사용하여 다시 단련하게 되므로 우수한 단련 효과를 얻을 수 있으며, 동일 금형으로 많은 양의 단조품을 생산 할 수 있다. 따라서 정밀도가 우수한 단조품을 얻을 수 있으므로 후 공정에서 절삭 가공 시간과 비용을 절감할 수 있다. 그러나 형 단조는 자유 단조에 비하여 단조 장비가 고가이며, 소정의 금형을 제작해야 하므로 소량의 생산에는 적합하지 않고 자동차 부품이나 농기계 부품등의 대량 생산에 유리하다.



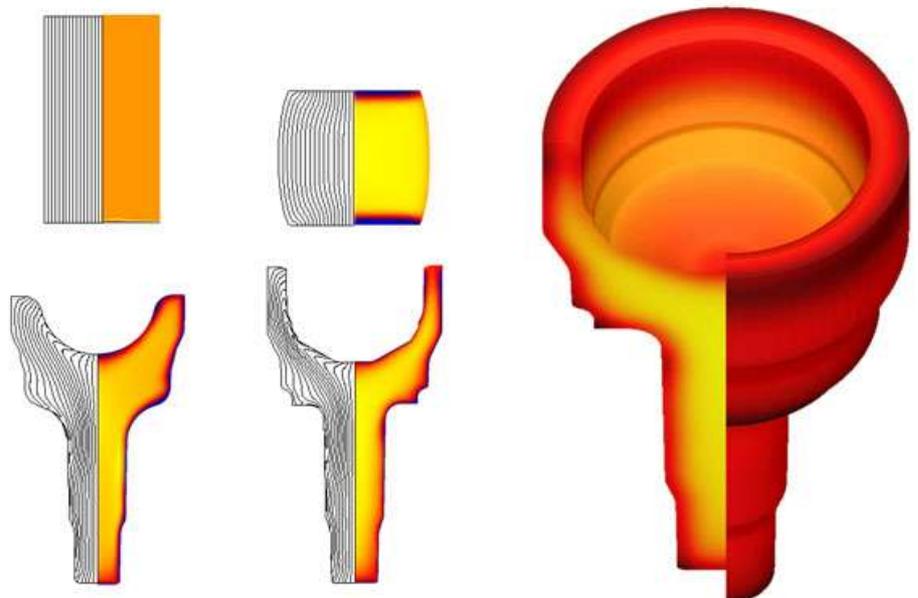
8.2.3. 열간 단조(Hot Forging, 熱間鍛造)

열간 단조는 재료를 재결정 온도 이상으로 가열하여 실시하는 것으로 온간 단조나 냉간 단조에 비하여 정밀도(精密度)는 떨어지지만 제작비가 저렴하고 단조품의 형상에 대한 제약이 적으므로 일반적으로 가장 많이 사용되는 단조 방법이다.



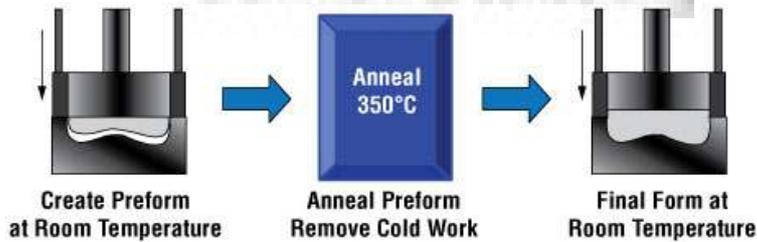
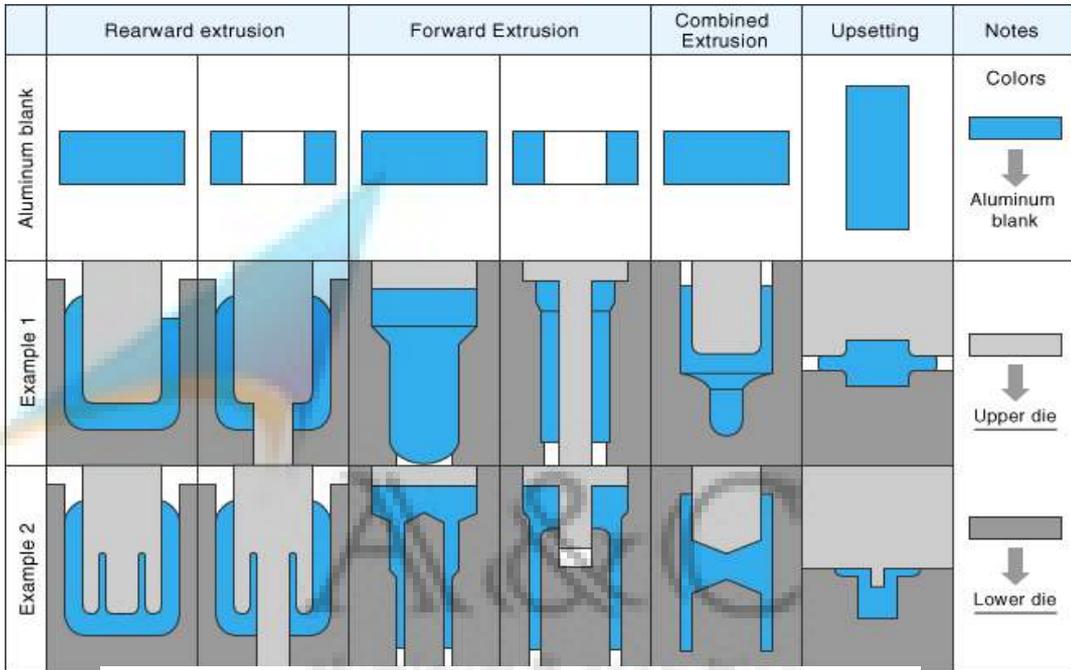
Virtually simulating the die hot forging of a wheel hub

Simulation of a CV-joint hot forging process



8.2.4. 온간 단조(warm Forging, 溫筒鍛造)

온간 단조는 강재 내외의 온도차가 큰 상태에서 온도의 중앙부에 집중적으로 단압력(鍛壓力)을 가함으로써 강재 중심부의 공극(空隙)을 압착시켜 내부가 건전한 단조품을 만드는 방법이다. 일반적인 열간단조(hot forging)에서는 1200~1250°C의 고온으로 균일하게 가열한 후 단조를 개시하여 800~750°C까지 단련(鍛鍊)하는 방법이다. 이 방법에서는 강재 내부에 잠재하는 편석대(偏析帶)의 결합은 단압착(鍛壓着)되지 않는다. 그러므로 온간 단조에서는 표층부와 중심부의 온도 차이를 의식적으로 확대시켜 열간 강재의 내외에 생기는 변형 저항의 차이를 이용하여 중심부의 단압 효과를 증가시키는 것이다. 1250°C 정도로 가열한 강재를 즉각 단압하지 말고 표면 온도가 700~800°C 정도의 단조 종료온도가 될 때까지 공랭하여(이 상태에서 내외의 온도 차이는 255~350°C가 된다) 중앙부에 집중적으로 단압력을 가하고 단련한다. 로터 샤프트나 터빈축 대형 단조품의 내부 품질 향상에 응용되고 있다.



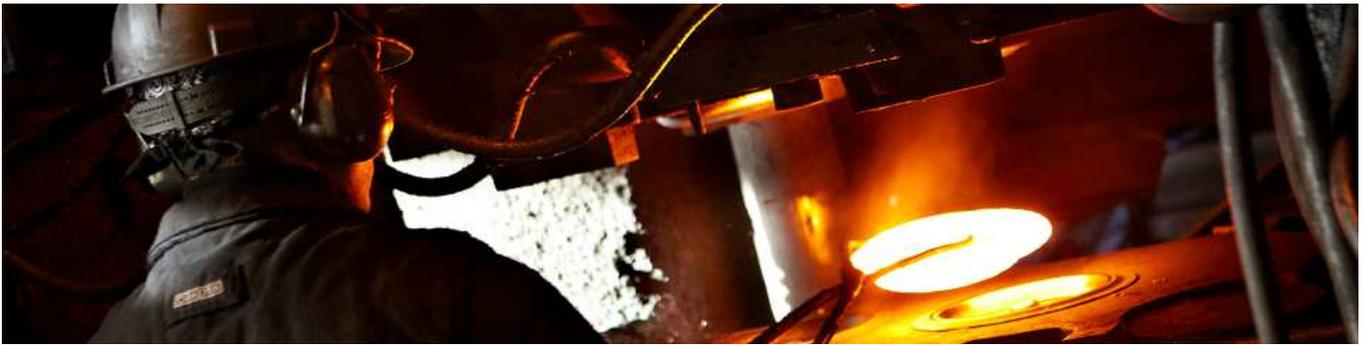
8.2.5. 냉간 단조(cold Forging, 冷間鍛造)

금형을 사용하여 소재의 성질을 개선하면서 상온에서 형 만들기를 하는 단조, 압출가공, 업세팅가공 단조가 주류를 이루며 자동차 콘덴서, 에어컨 부품 단조용

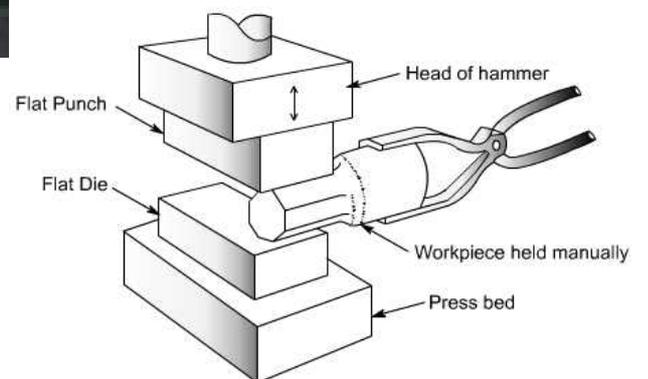


8.2.6. 햄머 단조(hammer Forging)

형상을 얻기위해 수회의 타격을 하며 각 공정별로 최소1회이상 타격을한다.단조품의 생산성과품질은 숙련된 작업자에 의해 크게좌우된다.고탄성계수의 알루미늄을 주로 생산 예를들어 총기류,기계부품등



© C consulting

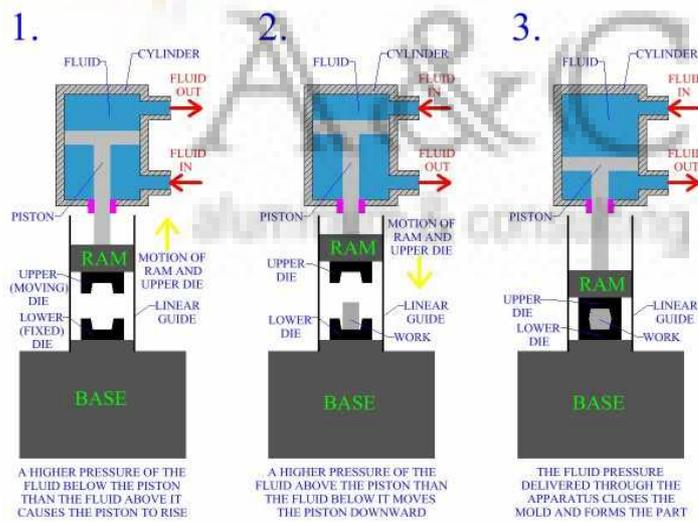


8.2.7. 프레스단조(press Forging)

단조(鍛造) 프레스를 사용하여 재료를 소성(塑性) 가공하는 방법. 서서히 가압함으로써 1회에 재료를 성형할 수 있고, 기계 해머와 같은 진동이나 소음이 없다. 대형 부품의 제조에 채용된다. 양산성이 뛰어난 단조방법으로 자동차 형단조품 과 고속프레스기법을 적용해 품질은 물론 생산성에 크게 기여하고 있다.

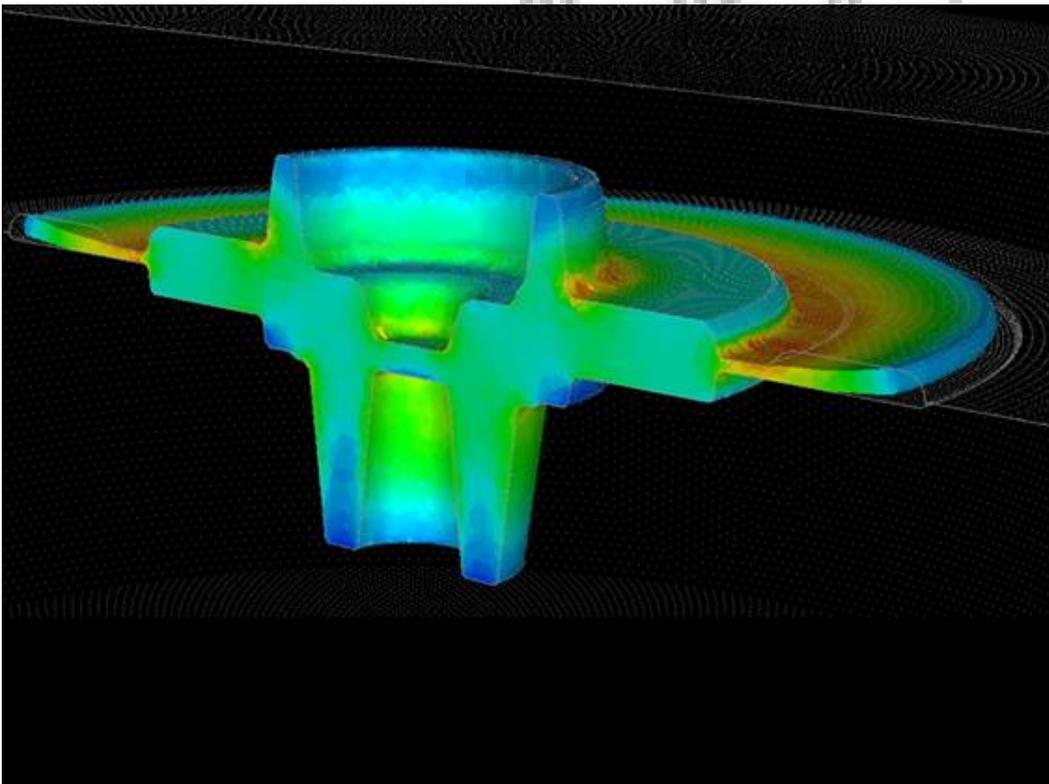
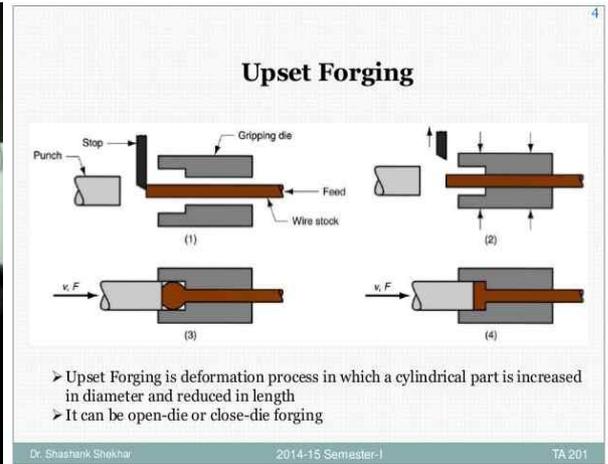


HYDRAULIC PRESS



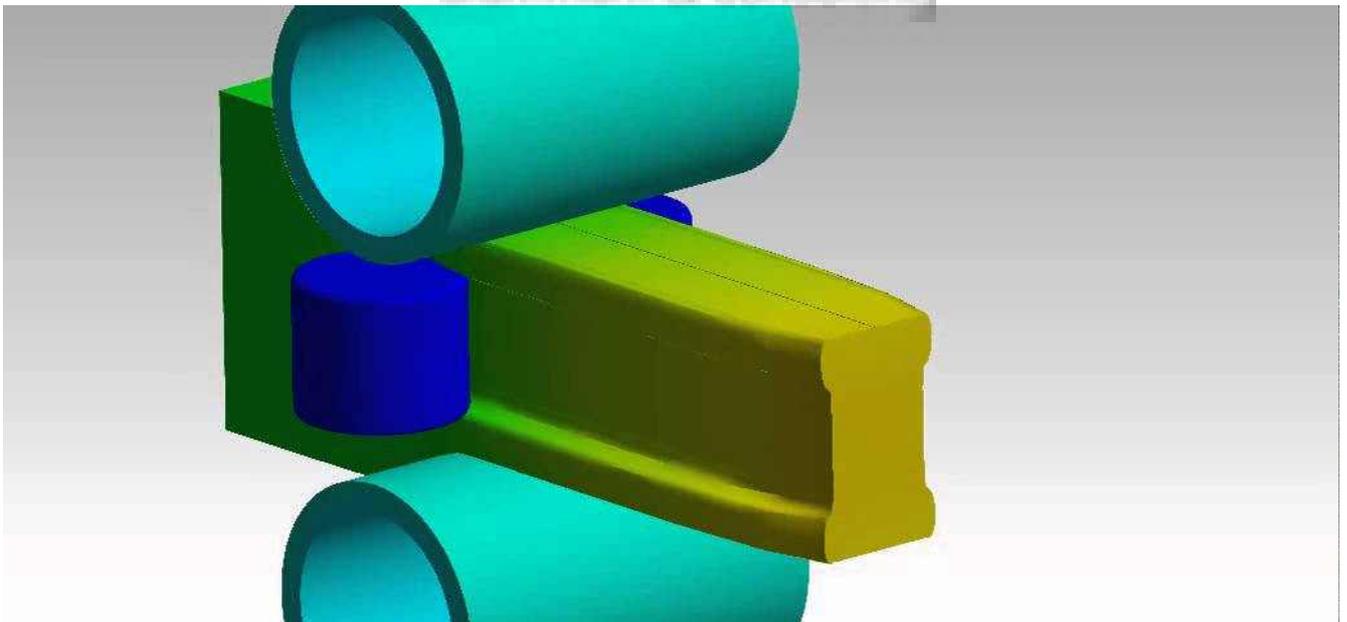
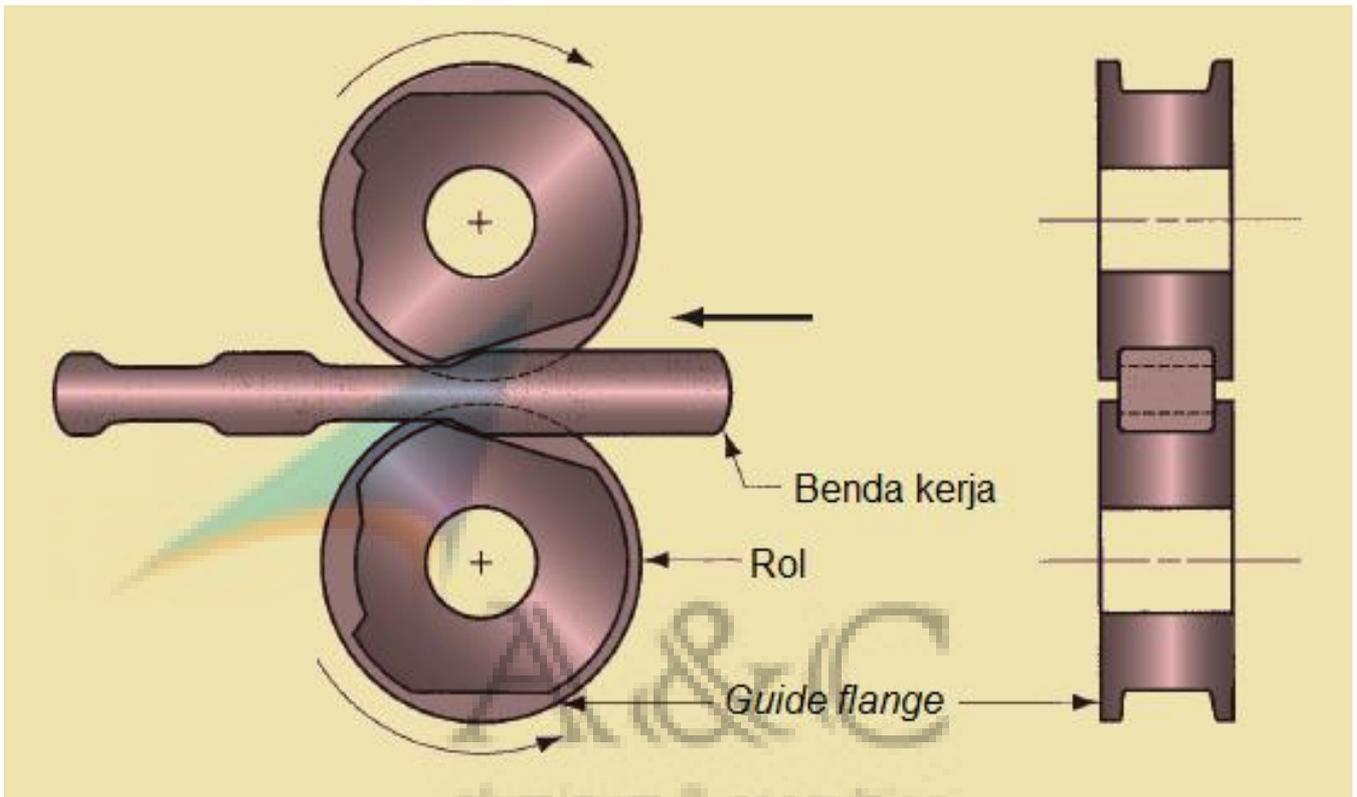
8.2.8. 업셋트 단조 (Upsetter Forging)

업셋트는 상하 또는 좌우로 개폐되는 그립다이(Grip Die)와 전후로 운동하는 펀치(Heading Tool)로 구성된 단조 기계이다. 업셋트는 긴축의 끝단에 플랜지(Flange)가 있는 형상의 단조에 가장 많이 사용되며, 중간 부분에 플랜지가 있는 제품, 관통된 구멍이 있는 제품, 관통하지 않은 큰 구멍을 가진 제품 등의 단조에 사용되며 파이프의 단조도 가능하다. 업셋트에 의하여 만들어지는 단조품으로는 자동차용 리어액슬샤프트(Rear Axle Shaft)가 대표적이다. 그리고 드라이브피니언(Drive Pinion), 허브케이싱(Hub Casing), 드래그링크(Drag Link), 스템(Stem) 등도 업셋트로부터 생산되고 있다. 또한 업셋트 단조는 햄머나 프레스 단조를 위한 예비 단계의 황지를 제작하는 데도 이용되고 있다.



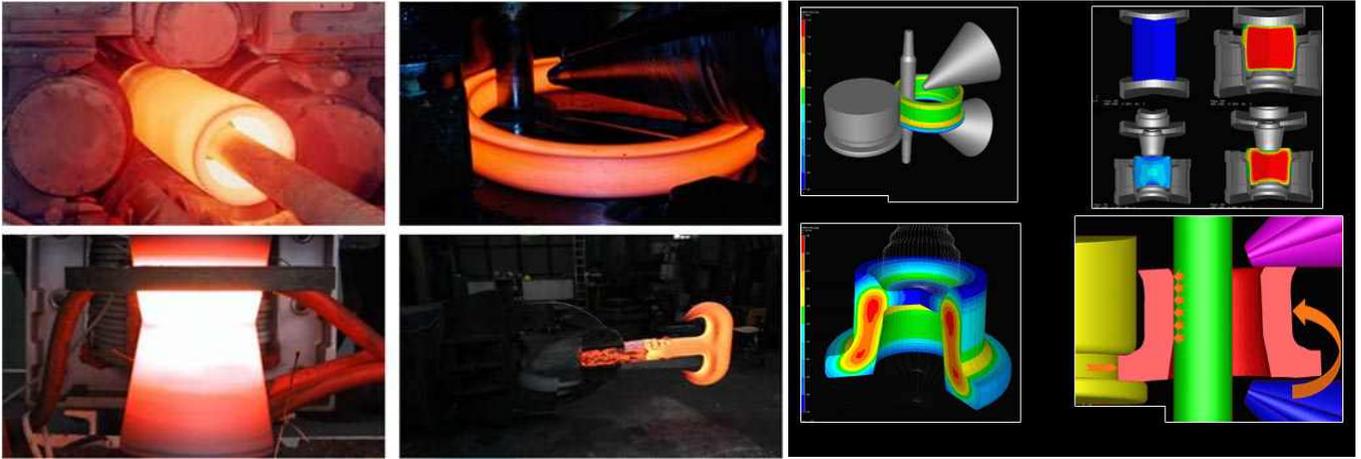
8.2.9. 롤 단조 (Roll Forging)

롤 단조는 서로 반대 방향으로 회전하는 한쌍의 롤(Roll) 사이에 롤의 회전 방향과 직각 방향으로 환봉(Round Bar)이나 각재(Square Bar)를 통과시켜 소재의 단면적을 감소시키고, 길이 방향으로 인발하는 작업이다. 롤 금형은 보통 한개 또는 수개의 그루브(Groove)를 갖게 된다. 롤 단조는 자동차의 프론트 액슬(Front Axle)과 같이 긴제품, 또는 연접봉과 같이 길이 방향으로 각 단면의 체적 변화가 심한 제품의 단조를 위한 예비 단조품(항지)의 체적 배분용으로 많이 사용되며, 리어액슬샤프트의 축부 인발용으로 사용되기도 한다.



8.2.10. 링 롤링 (Ring Rolling)

링 롤링은 Main Roll, Rolling Mandrel과 상하 각 하나의 Axle Roll로 구성된 단조 기계로서 링(Ring) 형상의 황지를 가압하여 링의 직경을 키워서 원하는 형상을 만드는 작업을 말한다. 작업 공정은 먼저 소재를 절단하고, 이를 가열하여 햄머나 프레스에서 업셋팅(Upsetting) 하고 내경을 펀칭(Punching)하여 황지를 제작하고, 이를 링 롤링 기계에서 원하는 형상으로 직경을 키우는 작업을 하게 된다.



C
Ring

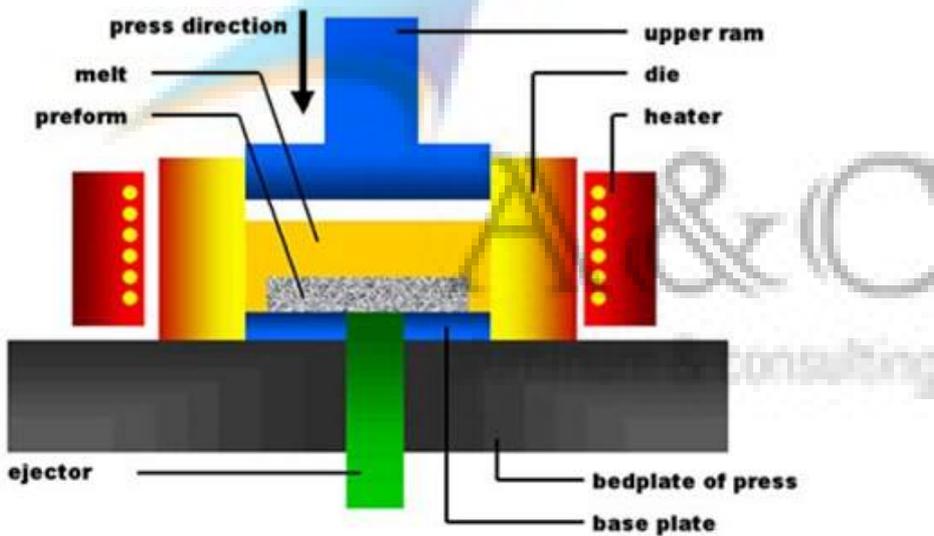


8.1.11. 용탕단조(Liquid Metal Forging , 鑄湯鍛造)

금형 내에 용융(溶融) 또는 반응용 상태의 금속을 쏟아서 넣고 고압축력을 가하여 응고시켜 원하는 형상을 성형시키는 가압 응고법(加壓凝固法)의 일종으로서 블로홀(blow-hole)이나 불량품이 없고, 조직이 미세화한 정도(精度) 높은 제품을 재료의 낭비 없이 효율적으로 제조할 수 있다



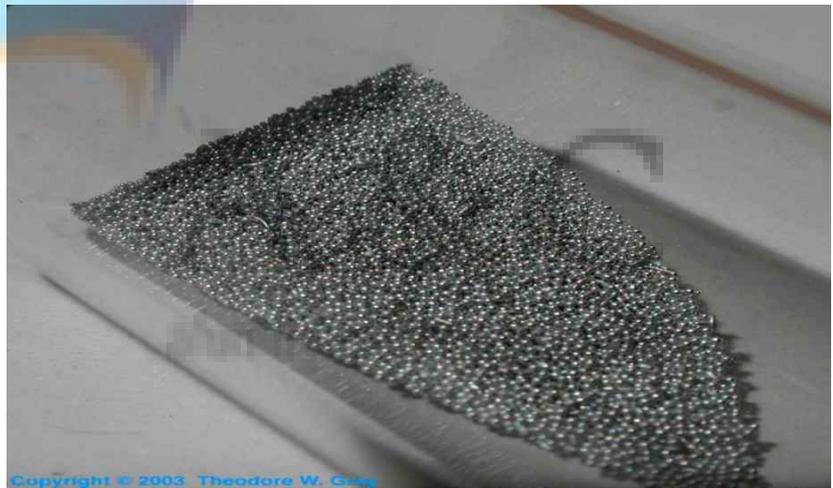
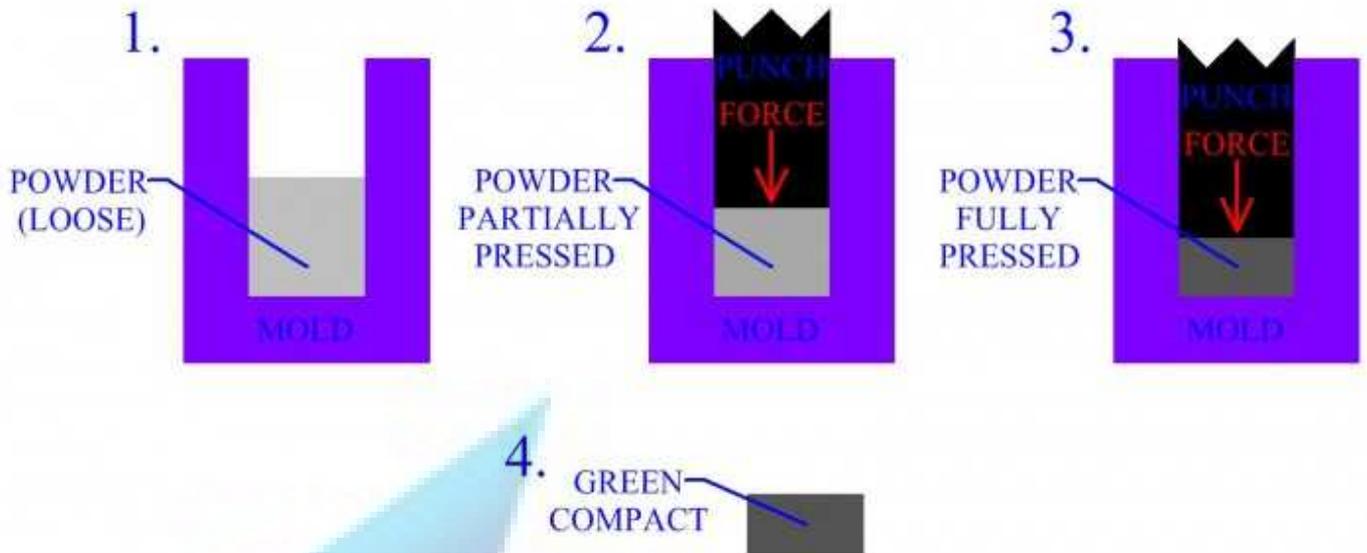
Process flow of Liquid Forging



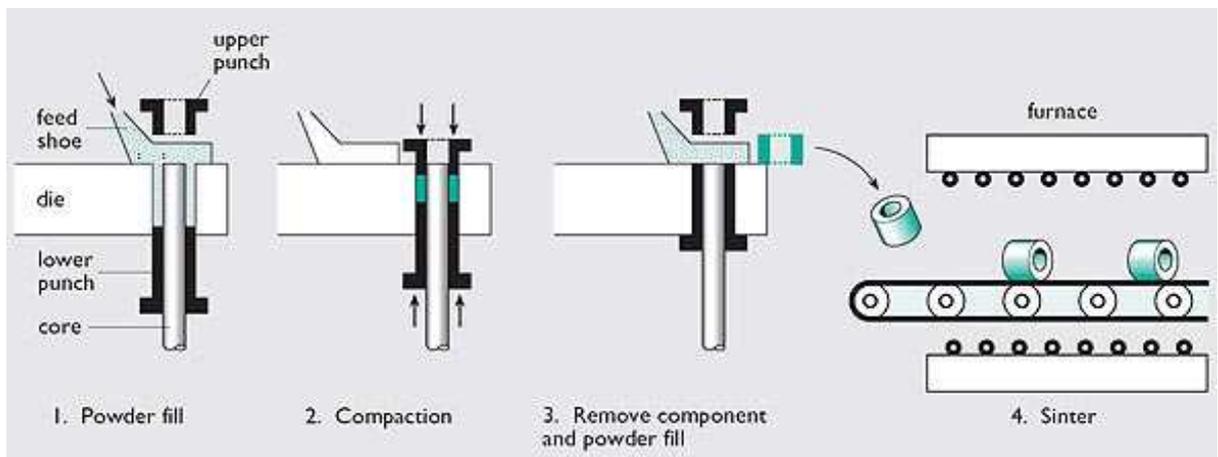
8.1.12. 분말단조(Powder Metal Forging, 粉末鍛造)

분말소결(粉末燒結)로 대강의 밀바탕을 만들고, 다듬질치기로 단련과 성형을 함께 마무리하는 단조 방법

POWDER PRESSING



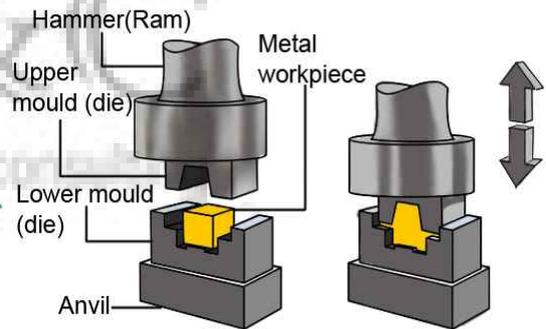
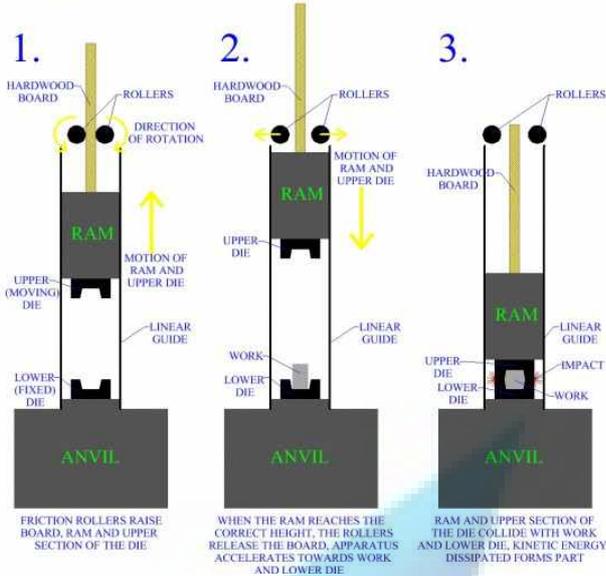
Copyright © 2003 Theodore W. Gow



8.1.13. 낙하단조(drop forging , 落下鍛造)

형단조법의 일종으로, 소요의 모양의 가진 형 중에 충격 압축하여 성형하는 단조법. 이것은 주로 소형 단조품을 대량 생산하는데 쓰이는 방법이다.

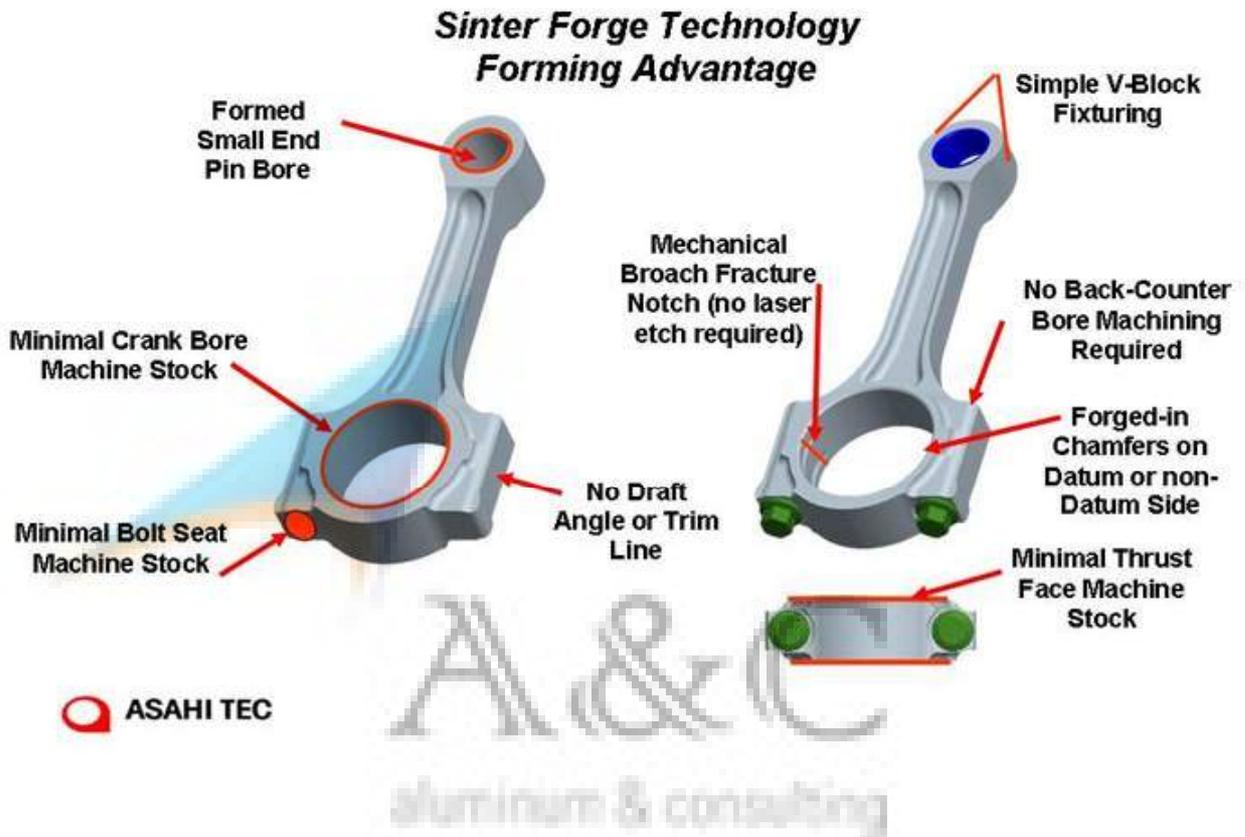
BOARD DROP HAMMER



8.1.14. 소결단조(Sinter Forging , 燒結段造)

분말 야금(粉末冶金)으로 만든 소결 소재(燒結素材) 의 분말을 밀폐된 형틀 속에서 열간(熱間) 정밀 단조를 하는 가공법으로서 제품의 밀도가 높아서 기계적 성질이 향상된다

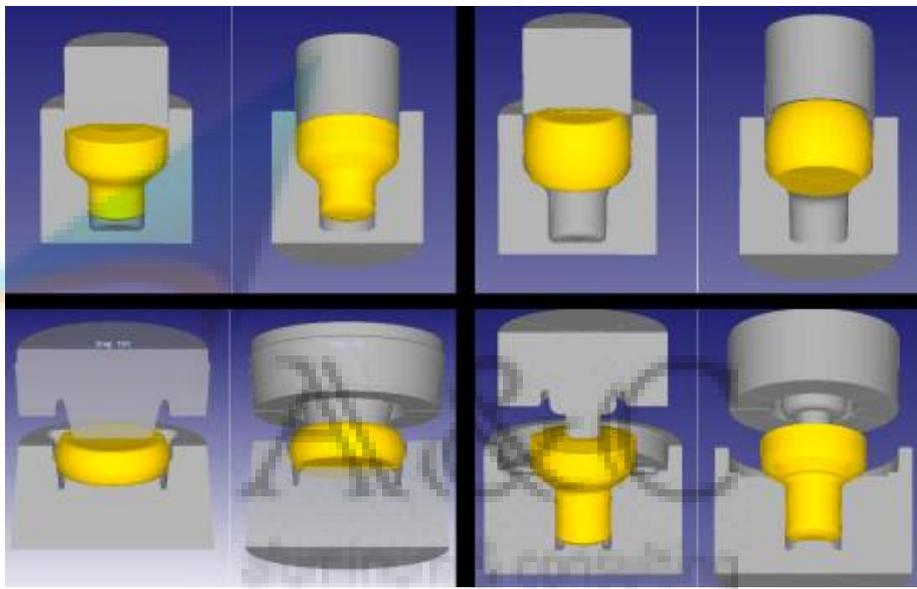
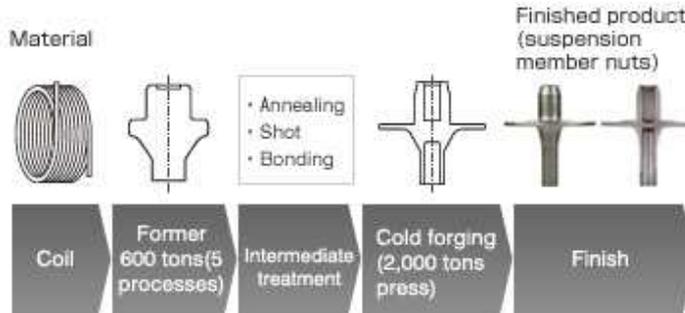
SINTER FORGED TECHNOLOGY – NEAR NET FORMING



8.1.5. 포머단조(former Forging)

1사이클에 여러공정을 연속적,반복적 단조방식이며 리벳,볼트등 소형생산품의 대량생산에 적합한 단조방식이다.

 Former + large press manufacturing process



8.3. 단조품 제작공정

단조는 기계적 성질이 우수한 제품을 얻기 위하여 금속에 충격이나 압력을 가하여 행하는 작업이다. 단조는 소성가공으로 작업 온도에 따라 열간, 온간, 냉간 등의 종류가 있고, 작업 기계별로는 단조 햄머, 단조 프레스등의 여러 가지가 있으며, 이러한 단조 방법은 생산 수량, 재료의 특성, 단조품의 형상 등에 의하여 결정된다. 여기서는 단조품의 초기 설계에서부터 금형 제작, 소재 준비, 열처리, 단조 작업 공정, 플래시 제거, 표면처리 등 단조품 생산에 필요한 공정에 대하여 알아본다.

8.3.1. 초기설계

단조품은 금형, 단조공정 등을 설계하는 설계자에서부터 시작된다. 따라서 단조품의 품질은 많은 부분이 단조 설계자에 의하여 결정된다. 그러므로 부품의 설계자는 최상의 단조품을 얻기 위하여 단조 기술자와 서로 협력해야 하며, 단조 기술자는 다음 사항을 고려하여 단조품을 설계해야 한다.

단조품의 형상 및 공차

재료의 선택

적용 가능한 규격

단조품의 중량

생산 수량

기계적 성질

장비선정 및 금형설계

8.3.1.1. 단조품의 형상 및 공차

일반적으로 단조품의 형상은 기계의 구성 요소로서 작동하는 기능에 의하여 결정된다. 따라서 일반적인 형상은 기계 부품의 설계자에 의하여 결정된다. 그러나 단조 기술자는 공차, 발구배, 모서리 및 구석 반경 등을 포함하여 원가를 절감할 수 있는 방안을 제시해야 한다. 불필요하게 높은 정도의 공차, 얇은 리브나 웹, 작은 발구배, 예리한 모서리나 구석 반경 등은 단조품 제작상의 문제점을 야기 시킬 수 있으며, 생산 원가의 상승을 초래하게 된다. 또한 불필요하게 높은 진직도는 단조 작업 후 별도의 교정 공정이나 냉간 작업 공정을 필요로 하게되며, 제한된 플래시 남음 또한 별도의 그라인딩 공정을 필요로 하게되어 원가 상승의 원인이 된다.

8.3.1.2. 재료의 선택

단조의 재료는 금속, 비철금속, 내열강 등 수없이 많다. 그러나 재료의 선정은 맨 먼저 부품의 기계적 성질에 의하여 좌우되며 일반적으로는 부품 설계자에 의하여 결정된다. 따라서 현실적으로 단조 기술자가 재료의 선정에 참여할 수 있는 폭은 극히 제한되어 있다고 할 수 있다. 대부분의 재료는 단조가 가능하지만 그 단조성(가단성)은 각 재료별로 많은 차이를 나타내고 있다. 단조성이 좋지 않아 간단한 단조 작업으로는 제작할 수 없는 재료의 경우 별도의 장비나 공정을 필요로 하게되므로 부품의 설계자는 재료의 선정에 있어서 단조 기술자의 의견을 수렴하는 것이 바람직하다.

8.3.1.3. 단조품의 중량

단조품의 중량은 단조 기술자에게는 아주 중요한 부분이다. 단조 기술자는 주어진 중량의 단조품을 생산하기 위한 투입 소재의 양을 결정해야한다. 이때 단조품의 단면 변화 및 금형 설계의 방법에 따라 투입 소재의 양이 달라지게 된다. 그리고 예비 단조품(업셋팅, 롤링, 드로잉 등에 의하여 만들어짐)은 플래시의 양을 적게 하여 소재의 양을 줄이고, 금형의 수명을 향상시킨다.

8.3.1.4. 생산수량

단조 방법, 단조 장비의 크기 및 형태, 금형의 형태 등은 생산될 단조품의 수량에 의하여 결정된다. 수량이 증가할수록 금형 및 작업 공정이 정교해진다. 금형 및 작업 공정이 정교해질수록 단조 이후의 공정이 단순해지므로 금형 제작비용이 상승하더라도 전체적인 제작비용을 절감할 수 있기 때문이다. 따라서 각 단조품에 대한 원가를 산출하는데는 생산량의 예상이 필수적이라 할 수 있다. 그리고 단조 기술자는 단조품의 생산 수량을 고려하여 금형 및 작업 공정을 가장 경제적으로 설계해야 한다.

8.3.1.5. 기계적 성질

단조품의 기계적 성질은 단조 방법, 형할선의 위치, 단조 소재 등에 의하여 영향을 받는다. 따라서 단조 공정은 Grain Flow 방향을 고려하여 설계해야 하며, 금형 또한 단조품의 방향적 특성을 고려하여 설계되어야 한다. 따라서 일반적인 방법으로 요구하는 Grain Flow를 얻을 수 없는 경우에는 이에 알맞는 특수한 공법을 생각해야 한다.

8.3.1.6. 장비선정 및 금형 설계

단조 설계자는 알고 있는 지식과 Grain Flow 특성, 단조 장비의 능력 및 특성, 금형재의 특성, 금형 제작 장비 및 방법, 소재 준비, 단조 기술, 금형의 윤활 열처리 등 경험에서 얻은 Know-how로 금형을 설계한다. 물론 설계자는 요구하는 형상의 제품을 만들기 위하여 가장 효과적으로 금형을 제작할 수 있도록 금형을 설계해야 하며, 최고의 응력에서 최상의 내구력을 가질 수 있도록 하는 Grain Flow를 가진 제품이 되도록 설계해야 한다. 대부분 초기단계의 작업이 Grain Flow를 좌우하게 되므로 브로카 등과 같은 초기 단계의 Impression의 설계가 아주 중요하다. 작고 복잡하지 않은 단조품의 경우에는 브로카와 같은 예비 Impression을 피니쉬와 같이 하나의 금형에 제작할 수도 있지만 크고 복잡한 단조품의 경우에는 두개 이상 별도의 금형을 제작해야 할 경우도 있다. 이런 경우 두개 이상 별도의 장비를 필요로 하기도 하고 단조 공정간에 별도의 가열 공정이 필요하게 되기도 한다. 그리고 금형은 단조품의 품질 뿐만 아니라 제품의 제조 원가에도 크게 영향을 미치게 되므로 세심하게 설계되어야 한다.

8.3.2. 소재준비

단조용 소재로는 롤(Roll)된 환봉(Bar)이나 각재(Billet)는 일반적으로 가장 널리 사용된다. 소재의 공급자로부터 단조 공장에 공급된 소재는 수량 및 중량을 확인하고 보관되며, 요구되는 금속학적 규격을 검사하기 위하여 시험실로 보내지기도 한다. 이 시험에는 화학 성분, 기계적 성질, 청정도, 그레인 사이즈 등의 검사가 포함된다. 그리고 소재의 표면에 크랙, 랩, 터짐 등 단조에 유해한 결함이 있는지도 검사되어야 한다. 검사가 끝나면 대개의 경우 소재는 단조품 생산에 알맞은 크기로 절단된다. 보통 Ø70 이하, 경도 HB250이하의 탄소강이나 저합금강 소재는 상온에서 빌렛시어로 절단하며, 고합금강이나 경도가 높거나 단면적이 큰 소재 또는 깨끗한 절단면이 요구될 경우에는 Band Saw, Circular Saw 등으로 절단한다.

8.3.3. 가열

냉간 단조의 경우에는 가열을 하지 않고 금속의 가연성을 좋게 하기 위한 일련의 조치를 취한 후 단조 작업을 하게되며, 온간이나 열간 단조의 경우에는 금속을 가열하여 단조성이 가장 좋은 온도에서 단조 작업을 하게된다. 이때 가열 온도는 소재의 종류에 따라서 달라진다. 예를 들어 구리(Copper) 또는 구리합금은 냉간에서 작업할 수 있지만 일반적으로 370~450°C에서 단조한다. 그리고 저탄소강, 저합금강은 1100~1260°C, 알루미늄은 370~450°C, 스테인레스는 1100~1130°C, 티타늄은 730~1065°C, 니켈 베이스 합금은 1040~1150°C에서 단조한다. 가열 방법은 전기에 의한 방법, 가스 또는 기름에 의한 방법 등 여러 가지가 있다. 그러나 가열 방법과 관계없이 과도한 스케일(Scale), 탈탄(Decarburization), 과열(Overheating) 등이 일어나지 않도록 하여야 한다.

8.3.4. 단조공정

8.3.4.1. 금형 시험 작업

금형의 파손을 막고, 금속의 흐름을 좋게 하기 위하여 시험 작업 전에 금형을 예열(豫熱)해야 한다. 예열 온도는 120~200°C 정도면 적당하다. 금형의 예열은 별도의 예열로(豫熱爐)에서 하기도 하지만 대부분 장비에 금형을 셋팅 시킨 후에 실시하고 있다. 금형이 셋팅 되고 예열이 완료되면 가열로에서 소재를 가져와 시험 작업을 실시한다. 시험 작업에서는 단조품의 두께, 형어긋남 등을 확인하고, 금형이 셋팅 상태, 각Impression의 상태, 작업성, 소재의 적절성 등을 확인하여 양산 작업에 대비해야 한다. 그리고 금형 내에서 금속의 흐름을 파악하여 불합리한 점이 있을 경우 생산이 시작되기 전에 도면 및 금형을 수정하여 생산에 만전을 기해야만 한다. 그리고 설계자, 생산자, 검사자가 모두 생산이 가능하다고 인정할 경우에만 제품 생산을 허용해야 한다.

8.3.4.2. 단조 공정

단면의 변화가 심한 제품(예, 연결봉(Connecting Rod))을 단조할 때는 일반적으로 여러 단계의 공정을 거치게 된다. 먼저 체적의 분배가 필요하다. 단면적이 작은 부분은 소재의 단면적을 감소시키고, 단면적이 큰 부분은 소재를 모아서 이후 공정에서 소재의 이동이 비교적 적게 일어나고 플래시의 양이 적게 되도록 해야 한다. 이는 필요에 따라 부속된 다른 기계 (예, Forging Roll)를 이용하기도 하고, 별도의 기계에서 예비 성형체를 제작하기도 한다. 다음은 제품 형상과 유사하면서 금속의 흐름이 용이하게 만들어진 브로카 공정을 거치게 된다. 브로카 작업은 햄머의 경우에는 1~수회의 작업에 의하여 이루어지며, 프레스의 경우 1Stroke로 완료되게 된다. 브로카 작업 후 단조품의 정확한 형상과 치수로 제작된 피니쉬 작업을 하게 된다. 피니쉬에서는 1~수회의 타격으로 Impression내에 살이 충만하게 되고 형할선으로 플래시가 발생하게 되며, 이 여분의 살인 플래시는 다음 공정에서 제거된다.

8.3.4.3. 플래시 제거

단조 공정에서 발생한 플래시는 여러 가지 방법에 의하여 제거되며 이것을 트리밍(Trimming)이라 한다. 일반적으로 플래시는 기계식 프레스에서 트리밍형에 의하여 절단되지만 특별한 경우 톱이나 그라인딩, 기계 가공 등으로 제거하기도 한다. 플래시를 제거하기 위하여 특별히 제작된 금형을 트리밍형(Trim Die)라하며 보통 플래시 라인의 윤곽과 같은 형상을 가진 날(Cutter)을 가진 이빨판(Cutter)과 단조품 형상에 맞는 형상을 가진 펀치(Punch)로 구성되어 있다. 이 트리밍형은 별도의 트리밍 프레스에 셋팅 되어 단조가 완료된 직후 열간 상태에서 플래시를 제거하게 된다. 극히 드문 경우이긴 하지만 소형 제품의 경우에는 단조품이 냉각된 후 별도의 기계에서 냉간 상태로 트리밍하는 경우도 있다.

8.3.4.4. 열처리

대부분의 열간 단조품은 기계가공 또는 사용 전에 최적의 Grain Size, Microstructure 그리고 기계적 성질의 향상을 위하여 열처리를 행한다. 열처리는 보통 수요자의 요구에 따라 Normalizing, Annealing, Quenching & Tempering 등을 행하게 된다.

8.3.4.5. 표면처리

열간 상태에서 단조와 열처리를 거친 단조품은 표면에 스케일(Scale)이라 불리는 얇은 산화층을 갖게 된다. (스케일은 가열되는 동안 소재와 로(爐)안의 산소가 화학 반응하여 형성된다.) 따라서 단조 후 기계가공이나 기타 다른 공정을 행하기 전에 스케일을 제거해야 한다. 스케일의 제거 방법으로는 Blast Cleaning, Tumbling, Pickling 등이 있으며, 알루미늄의 경우에는 산 세척을 하게 된다.

8.3.4.6. 코이닝(Coining)

단조품이 아주 작은 공차를 갖는 경우 코이닝에 의하여 그 공차를 맞추게 되는 경우가 있다. 코이닝은 열간 또는 냉간 상태에서 실시하지만 신척의 영향을 받지 않고 보다 깨끗한 표면을 얻을 수 있는 냉간 코이닝이 널리 시행되고 있다. 코이닝은 트리밍 프레스에서 행해지기도 하지만 별도의 코이닝 프레스에서 실시하는 것이 일반적이다.

8.3.4.7. 교정(Straightening)

트리밍, 열처리, 표면처리 등의 작업을 거치면서 단조품은 굽거나 뒤틀리게 된다. 이런 단조품을 바로 잡는 작업을 교정이라 한다.

8.3.4.8. 검사

단조 작업이 진행되는 동안 행하는 검사를 중간 검사라 하며, 이때 단조품의 품질에 중대한 결함이 발생하게 되면 검사자는 즉각 단조 작업을 중단시킨다. 중간 검사자는 작업도중 일정한 간격으로 단조품을 Random Sampling하여 하여 불량품의 생산을 방지해야 한다. 그리고 단조, 열처리 등 모든 작업이 완료된 단조품에 대하여 최종 검사를 행하게 된다. 치수 검사를 기본으로 하여 외관은 물론 필요에 따라서 비파괴 검사, 기계적 성질 검사 등을 행하게 된다.



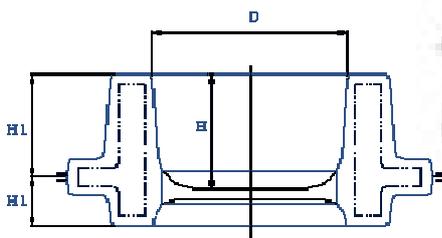
8.4.제품설계

8.4.1. 가공여유(加工餘裕 : Finish Allowance)

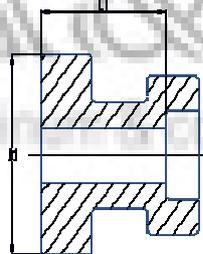
단조품은 단조 상태 그대로 사용하기도 하지만, 일반적으로 전면 또는 부분적인 가공을 거쳐서 사용하게 된다. 이때 단조품은 가공을 위한 적당량의 덧살을 갖게되며 이를 가공여유라고 한다.가공여유는 단조품의 형상, 크기, 용도, 재질, 단조기계의 종류, 단조기계의 정밀도, 가열 방식, 단조 작업 공정, 기계 가공 기준, 기계 가공 방법 등 여러 가지 요인을 종합적으로 고려하여 결정하게된다. 단조품은 가공여유를 가능한 적게 하여 재료의 절감, 가공 공구의 수명 연장, 가공 생산성의 향상을 도모해야한다. 그러나 단조품은 스케일, 찍힘 등의 표면흠이 발생하고 가공후 탈탄층이 남아있을 수도 있으므로 0.5mm이하의 가공여유는 피하는 것이 좋다.일반적인 경우의 가공여유는'DIN 7523 및 DIN 7529'를 참조하여, 이를 기준으로 하여 각 제품의 특성에 따라 가공여유를 설정하며 고객과 협의하는 것이 좋다.

<표1> 가공여유 (DIN 7523) <그림 1참조>

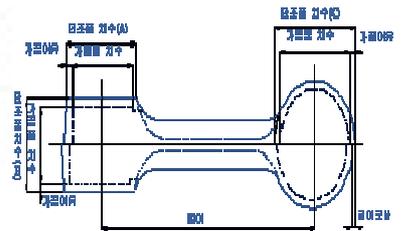
H or H1	Hammer Forging					Press or Upsetter Forging				
	최대직경 D	~63	63~160	160~400	400~1000	1000~2500	~63	60~160	160~250	250~315
~25	1.5	1.5	1.5	2	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
25~40	1.5	1.5	1.5	2	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
40~63	1.5	1.5	2	2.5	3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
63~100	1.5	2	2.5	3	3.5	1.5	1.5	2	2	2
100~160	2	2.5	3	3.5	4	1.5	2	2.5	2.5	2.5
160~250	2.5	3	3.5	4	5	2	2.5	3	3	3
250~400	3	3.5	4	5	6	2.5	3	3	3.5	3.5
400~630	3.5	4	5	6	7	3	3.5	3.5	4	4



<그림 1>



<그림 2>



<그림 3>

<표2>압셋타 단조품의 구멍부 가공여유 (DIN 7529)<그림 2 참조> <표3>강 단조품의 일반적인 탈탄층 한도

구멍 길이(L1)	~63	63~100	100~140	140~200
구멍 직경(D1)				
~25	2	-	-	-
25~40	2	3	-	-
40~63	2	3	3.5	-
63~100	3	3	3.5	4.5
100~160	3	3	3.5	4.5

단면크기범위(MM)	탈탄층의한도(MM)
~25	0.8
25~100	1.2
100~200	1.6
200~	3.2

형할선에 평행하게 가공되는 가공면의 가공여유는 두께치수, 직진도, 표면흠 등의 영향을 받게되며, 형할선에 수직 또는 이와 유사하게 가공되는 가공면의 가공여유는 폭 및 길이치수, 직진도, 형어긋남 등의 영향을 받게된다. 그리고 가공기준면은 플래시면, 형마모가 심한 곳, 변형이 심한 곳 등을 피하고 가능한 평할한 면을 선택하는 것이 좋다. 따라서 가공 기준면은 치수변화, 형어긋남 등의 영향을 받지 않으므로 단조품의 크기 및 형상에 따라 0.8~1.0mm까지의 가공여유만으로도 가능하다. 그러나 대형 단조품의 경우에는 제품의 형상, 크기, 단조기계의 특성, 가공 방법 등을 고려하여 이보다 많은 양의 가공여유가 필요한 경우도 있다.

모든 경우의 공차를 고려하여 가공여유를 설정하게되면 가공량이 너무 많아지게 된다. 이 때는 제품의 특성을 고려하여 교정, 코이닝 등의 공정을 추가하거나 공정별 관리를 철저히 하여 가공여유를 최소화시켜야한다. 이경우 공정 추가 등에 의하여 제작비용이 증가하게 되므로 단조품의 기능, 단조품의 품질, 제조원가, 각 회사의 조건 등을 고려하여 가장 적절한 방법을 찾도록 고객과 협의해야 한다.

단조품의 가공여유는 발구배에 의한 덧살을 제외한 부분만을 말한다. 그러나 고객의 입장에서는 발구배에 의한 덧살도 가공 시에 제거해야할 부분이므로 발구배의 각도, 형할선의 위치 등에 대해서도 잘 검토해야한다. 그리고 모서리 및 구석 반경에 의한 가공여유의 변화를 고려하여 가공여유를 설정해야한다. 특히 모서리부의 가공여유는 발구배 및 모서리 반경의 크기에 의한 변화로 가공여유가 부족한 경우가 많으므로 주의해야하며, 가공품의 모따기(chamfer) 정도와 단조품의 모서리 반경, 발구배의 관계를 잘 검토해야한다. 특히 탈탄층이 남아있을 경우에는 내피로성을 낮추게되므로 가공시 탈탄층이 완전히 제거될수 있도록 하는 것이 좋다.

단조품 치수 (A) = 가공품 치수 + 2x가공 여유 + 두께 공차 + 길이 치수 + 형어긋남 공차

단조품 치수 (B) = 가공품 치수 + 2x가공 여유 + 두께 공차 + 2x진직도 공차

단조품 치수 (C) = 가공품 치수 + 2x가공 여유 + 2x진직도 공차 + 형어긋남 공차

8.4.2. 단조 공차 (鍛造 公差 : Forging Tolerances)

단조 공차는 KS B 0426, KS B 0427에 규정되어 있으므로 이것을 이용하는 것이 좋다. 단조 공차는 단조품의 중량, 재료의 성형 난이도(難易度), 형상의 복잡도(複雜度), 치수 등에 의하여 설정되며, 보통급과 정밀급으로 구분되어 있다. 그러나 KS에 규정된 단조 공차만으로는 모든 제품에 대하여 고객을 만족시킬 수 없으며, 제조자의 능력과 일치하지 않는 경우도 많다. 따라서 제조자는 고객의 요구(또는 고객의 독자적인 규격), 제조자의 능력, 제품 및 가공상의 특성 등을 고려하여 결정하여야 한다. 그리고 제조자는 고객의 요구를 만족 시키고 제품의 정밀도를 향상시켜 고품질의 단조품을 생산할 수 있도록 끊임없는 노력을 해야하며, 고객도 단조품의 특성을 충분히 고려하여 양질의 제품이 낮은 제조원가로 생산될 수 있도록 협조해야한다. 일반적으로 단조 공차 설정 시 고려 사항을 살펴보면 다음과 같다.

고객의 요구(또는 고객의 독자적인 규격)

제조자의 공정 능력

- ① 단조 기계의 정밀도
- ② 금형 제작 능력
- ③ 가열 조건
- ④ 형타 및 트리밍 시의 온도 관리
- ⑤ 소재 절단 정밀도
- ⑥ 금형 설계
- ⑦ 제품의 취급(취급상 찍힘, 변형 등)
- ⑧ 금형의 내마모성
- ⑨ 금형 및 볼스터 등의 관리
- ⑩ 스케일 발생 방지 및 제거 등

가공 기준 및 가공 조건

가공 방법

제품의 용도 및 특성

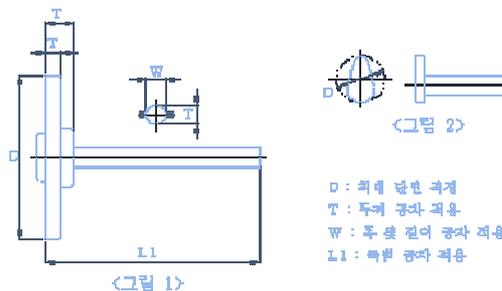


8.4.3. 단조 공차의 종류

단조품의 공차에는 두께 공차, 폭 및 길이(높이포함) 공차, 중심간 치수 공차, 반경 공차, 빼기 기울기 공차, 형어긋남 공차, 휨 공차, 귀남음 및 귀뜯음 공차, 귀끝굽음 공차, 표면 거칠기 공차, 이젝트 자국 공차 등이 있다. 이 중에서 해석상 문제 발생의 소지가 있는 몇 가지 공차에 대하여 용어의 정의, 설정 방법 및 해석 방법에 대하여 알아본다.

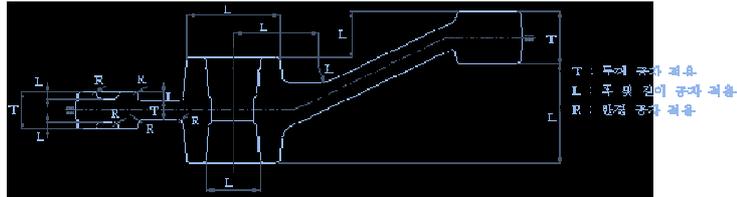
8.4.3.1. 두께 공차

형할면에 수직인 치수로 형할선을 포함하는 치수를 두께 치수라 한다. 업셋터 단조품의 경우에는 거입 부분의 펀치와 인서트까지의 거리 및 상·하 그림 되는 부분의 치수를 두께 치수라 한다. 두께 치수 공차 설정은 거입 부분의 최대 직경을 기준으로 설정되며 이때 최대 직경은 <그림2-1>의 D와 같이 거입 부분의 최대 단면부의 직경으로 하고, 타원의 경우에는 최대 단면의 외접원의 직경(<그림2-2>의 D)으로 한다. 또한 그림과 같이 거입 부분과 소재 상태로 사용되는 거입 되지 않는 부분이 함께 포함된 경우에는 특별 공차를 적용한다.



8.4.3.2. 폭 및 길이 공차(높이 포함)

형할면과 평행한 치수, 두께와 동일 방향이지만 형할선을 포함하지 않는 치수(상형 또는 하형에만 형조되는 치수), 중심 위치가 명기된 반경, 중심간 치수지만 도면상 중심간 치수 공차가 표시되지 않은 치수, 기타 형할면을 포함하지 않는 치수 등을 폭 및 길이(높이포함) 치수라한다. 업셋터의 경우에는 인서트와 그립 다이에 의하여 그립(grip)되는 부분의 형할면상의 치수도 폭치수라 한다.



8.4.3.3. 중심간 치수 공차

2개의 중심을 연결하는 치수에 적용하며, <그림2-1>과 같이 굽음의 영향을 받는 치수에는 적용하지 않으며, 도면상 중심간 치수 공차가 명기되지 않은 치수는 일반 공차(폭, 길이, 높이 공차)를 적용한다.

8.4.3.4. 반경 공차

중심 위치가 명기되지 않은 모서리 또는 구석 반경.

8.4.3.5. 휨

축류(軸類) 제품의 휨은 도면상의 기준면과 측정 위치의 표시가 있는 경우에는 이에 따르며, 없을 경우에는 양끝단을 기준으로 하여 중앙부에서 측정하는 것을 원칙으로 한다. ARM류는 기준면으로부터 치수에 휨 공차를 가산한다.



<그림 4> ARM류의 휨 적용

기어 블랭크 (GEAR BLANK)의 경우에는 아래와 같이 적용한다.



<그림 5> GEAR BLANK의 휨 적용

... 휨을 포함한 치수의 공차는 다음과 같이 적용한다.

.. 최대 치수(T2)는 두께 공차와 휨 공차를 비교하여 큰 쪽을 적용한다.

.. 최소 치수(T1)는 두께 공차의 하한치와 휨 공차를 합하여 적용한다.

단, 두께 치수는 두께 공차를 만족해야 한다.

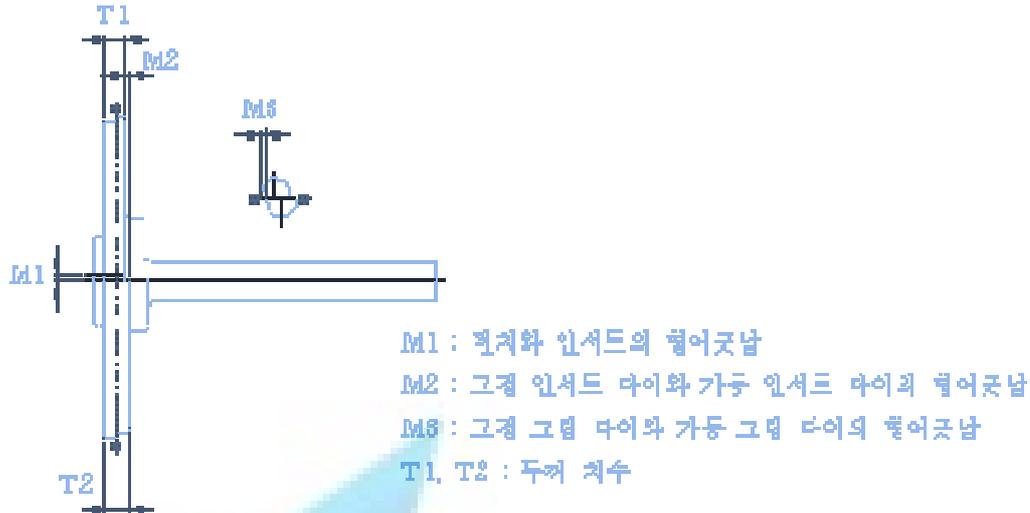
《예》 두께 공차 : $T + 1.2 - 0.5$ 휨 공차 : B 1.0 일 때

$$T + 1.2 \geq T1 \text{ 또는 } T2 \geq T - 0.5 - 1.0$$

$$T + 1.2 \geq t1 \text{ 또는 } t2 \geq T - 0.5$$

8.4.3.6. 형어긋남

함마 또는 프레스의 경우 형분할면에서 상형과 하형의 어긋남을 말한다. 그리고 압셋터의 경우에는 펀치(punch)와 인서트 다이(insert die)의 어긋남, 인서트 다이, 그립 다이(grip die)의 고정형과 가동형의 어긋남에 적용한다.



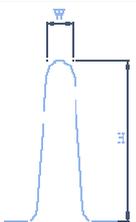
M1 : 펀치와 인서트의 형어긋남
M2 : 고정 인서트 다이와 가동 인서트 다이의 형어긋남
M3 : 고정 그립 다이와 가동 그립 다이의 형어긋남
T1, T2 : 두꺼 치수

<그림 6> 압셋터 제품의 형어긋남

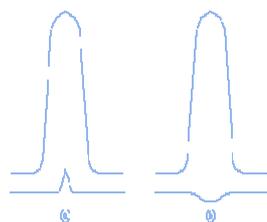
8.4.4. 리브 (RIB)

리브란 단조면에 직각인 얇은 부분을 말한다. 리브는 웨브와 마찬가지로 단조 작업이 진행되는 동안 소재의 온도저하(냉각)가 빠르게 진행되어 성형성이 저하하게 된다. 따라서 좁고 깊은 리브에 살을 채우기 위해서는 보다 높은 단조 압력이 요구된다. 리브가 깊고 좁은 경우에는 발구배가 클수록 이형에는 도움이 되지만 금형 면과 소재의 접촉면적이 크게되어 소재는 더 많은 저항을 받게되어 살 채우기에 불리하기 때문에 살을 채우기 위하여 발구배를 줄이기도 한다. 이 경우에는 이형에 문제가 생길 수가 있으므로 2단 발구배를 사용하는 등의 방안을 강구해야 한다. 또한 원형 또는 채널형 단조품의 리브가 깊고 좁은 경우에는 단조작업 또는 트리밍 작업 시 단조품과 금형 간의 급격한 열의 이동으로 단조품은 수축하게 되고 금형은 팽창하게 되어 이형이 아주 어렵게 된다. 이 경우 가능한 내 측 발구배를 크게 하고, 이형재를 충분히 사용해야하며(이때 수용성 이형재는 물의 표면장력으로 인하여 전면 도포가 되지 않으므로 수용성보다는 유용성 이형재를 권장한다.), 제품과 금형의 접촉 시간을 최소화하는 것이 좋다. 특히 금형 교환 후 초기 작업시 금형의 온도가 낮은 상태에서는 이형이 더욱 어려우므로 금형 및 트리밍형의 충분한 예열이 필요하다. 리브의 폭(두께) 치수는 웨브와 마찬가지로 특별히 정해진 값은 없으며, 일반적으로 사용되는 추천치는 다음과 같다.

H (mm)	~10	12	15	18	20	25	30	40	50	80	100
Wmin. (mm)	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	8	10	14	16



<그림 1>

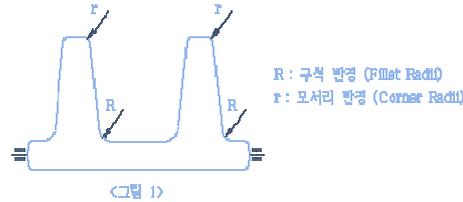


<그림 2>

좁고 깊은 리브는 단조 시 <그림2> a와 같이 압출에 의한 결함을 발생시키기도 한다. 이는 결함이 생기는 공정의 앞 공정에 <그림2> b와 같이 이부분에 대한 체적을 보충해 줌으로써 방지할 수 있다.

8.4.5. 반경 (半徑 : Radius)

단조품에는 모서리와 구석 부에 적당한 반경을 붙임으로서 재료의 유동을 좋게 하고, 단조 결함을 방지 하며, 단조 에너지를 줄여주게 된다. 따라서 금형의 수명을 향상시킨다. 단조품의 구석 및 모서리 반경은 가능한 크게 하는 것이 단조 작업에 유리하다. 구석 부의 반경(R)이 작을 경우에는 단조 결함(Cold Shut) 이 발생하거나 형 무너짐이 발생하여 이형(離型)이 곤란하게 된다. 또한 모서리 반경(r)이 작으면 단조 작업 시 응력이 집중되어 피로에 의한 금형 크랙(Crack)이 발생하게 되며, 이 부분의 살을 채우기 위하여 보다 많은 단조 에너지를 필요로 하게되어 결국 금형의 수명을 저하시키게 된다. 또한 Stainless Steel과 같이 단조성이 나쁘고 변형 저항이 큰 재질의 경우에는 보다 큰 반경(일반 구조용 탄소강 및 합 금강의 1.5~2배)으로 해야 한다.



8.4.5.1. 모서리 반경 (Corner Radius)

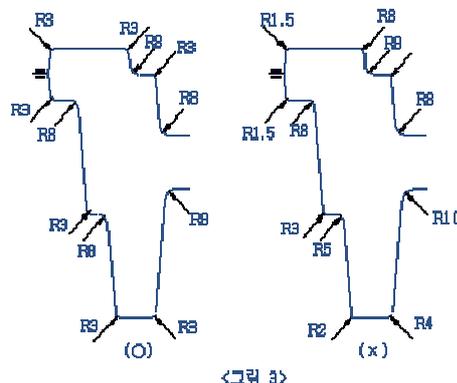
① 모서리 반경은 가능한 크게하는 것이 좋다.

모서리 반경이 작으면 금형 제작 공수가 많아지게 되며, 금형 가공 후 열처리시 금형 크랙(<그림 2>참 조)이 발생할 수도 있다. 그리고 전술한 바와 같이 단조 작업 시 응력이 집중되어 피로에 의한 금형 크랙 (Crack)이 발생하게 된다. 그리고 이 부분의 살을 완전히 채우기 위하여 보다 큰 단조 압력을 요구하게 되며, 따라서 금형이 받게되는 압력이 커지게 되어 금형의 수명이 감소하게 된다.



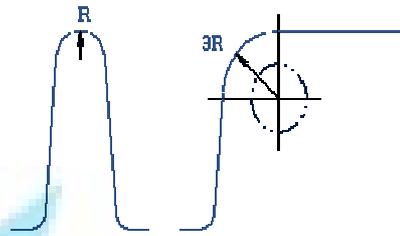
② 모서리 반경의 변화는 가능한 피하는 것이 좋다.

모서리 반경이 변화하게 되면 금형 가공시 각 모서리 반경에 해당하는 공구를 교환해 가면서 가공해야 하므로 금형 가공이 어렵게 된다. 이때 작은 공구의 교환을 피하기 위하여 가장 작은 반경의 공구로 전체를 가공하는 경우도 있으나 이때는 공구의 직경이 작아지게 되어 피로 강도가 저하되어 쉽게 파손되 거나 마모되어 못쓰게 된다. 단조품의 특성상 특별히 작은 모서리 반경이 필요한 경우에는 이 부분의 금 형을 분할하여 제작하는 것도 한 방법이다. 이때는 금형이 분할되어 있으므로 단조 작업 시 가스가 빠져 나갈 수 있는 통로의 역할을 하게되어 모서리 부의 살 참에 도움이 되고, 따라서 응력 집중에 의한 금형 파손의 우려가 없다. 그러나 금형 제작이 어렵고 제작 공수가 증가하게되어 금형 제작비용이 상승하게 된다.



③리브(Rib) 또는 보스(Boss)부의 모서리 반경

리브 또는 보스의 모서리 부는 응력에 의한 금형의 크랙이 가장 발생하기 쉬운 곳이므로 모서리 반경은 가능한 크게 하는 것이 좋으며, 하나의 반경(Full Radius)으로 하는 것이 가장 좋다. 그리고 리브나 보스의 폭이 넓은 경우에도 2개의 모서리 반경의 크기를 같게 해야하며 가능한 하나의 반경(Full Radius)으로 하는 것이 좋다. 또한 리브의 끝단 모서리 반경은 후 공정에서 가공되는 구멍과 동심원이 되도록 하며, 리브의 모서리 반경의 3배 이상이 되도록하며 가능한 큰것이 좋다. 그리고 평면도 상에서의 끝단 부 모서리 반경은 하나의 반경(Full Radius)으로 하는 것이 가장 좋다.



<그림 4>

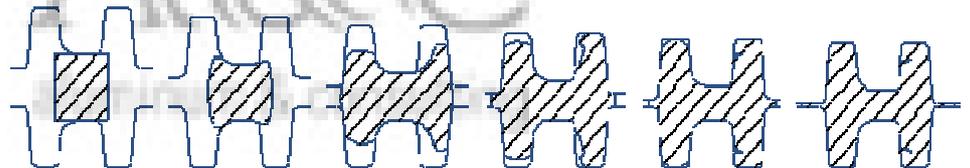
8.4.5.2. 구석 반경 (Fillet Radius)

①구석 반경은 가능한 크게 하는 것이 좋다.

구석 반경이 작으면 단조 작업시 소재가 유동하면서 일시적인 동공(Void)현상이 발생하게 되며 단조가 완료되면 이 부분에 살은 차게 되지만 결함(Cold Shut)이 발생하게 된다. 따라서 이 부분은 살의 흐름을 원활하게 하기 위하여 반경을 크게 해야 한다. (<그림 6>참조) 또한 구석 반경이 작으면 금형이 쉽게 무너지게 되어 이형이 어렵게 되고 결과적으로 금형의 수명이 짧아진다. (<그림 5> 참조)



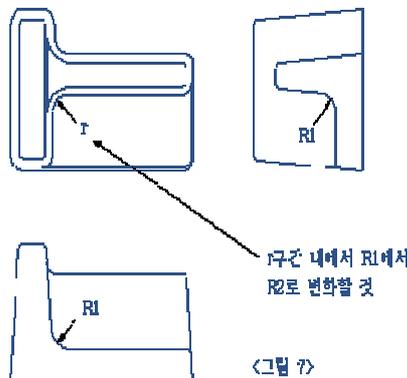
<그림 5>



<그림 6> 작은 구석 반경에 의한 결함(Cold Shut) 발생

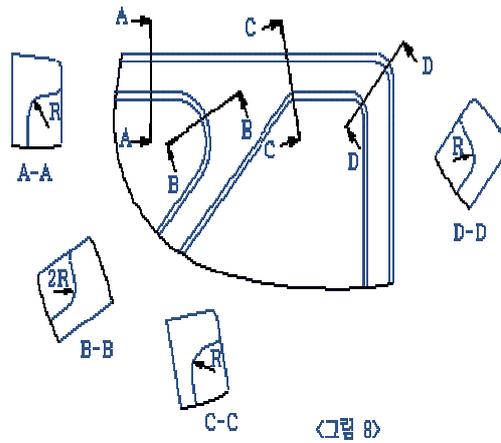
②모서리 반경과 마찬가지로 구석 반경의 변화도 가능한 피하는 것이 좋다.

구석 반경이 변화하면 금형 제작이 어려워진다. 특히 방전가공을 위한 양각 모델 제작시 구석 반경이 변화하면 공구의 교환이 이루어져야 하므로 불합리하다. (<그림 3>참조) 그러나 하는 수 없이 구석 반경이 변화 되어야 할 경우에는 평면도상의 교점에서 변화하도록 하는 것이 좋다. (<그림 7>참조)

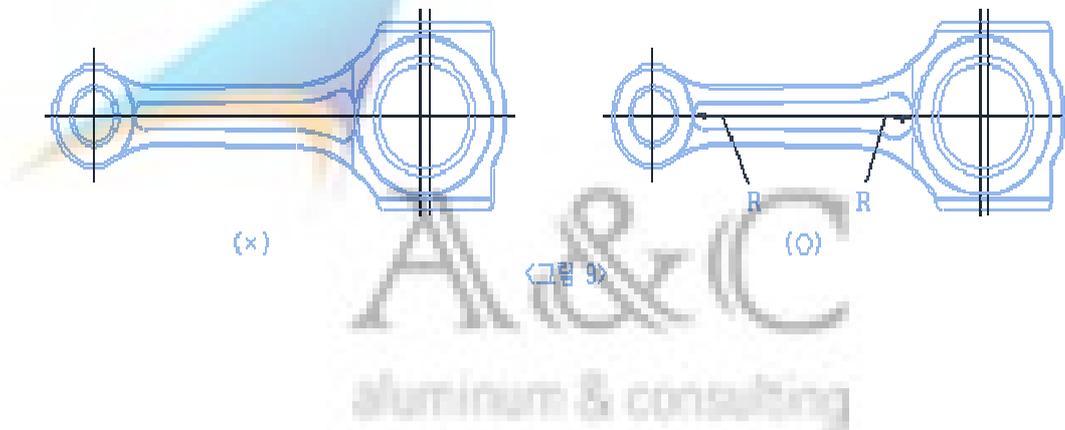


<그림 7>

③리브가 인접한 복잡한 형상의 경우에는 구석 부위에 크랙이 발생하기 쉽다.
 특히 리브의 만나는 각도가 90°보다 작은 경우에는 보통의 구석 반경보다 2배 이상으로 크게 하는 것이
 좋다. (<그림 8>참조)



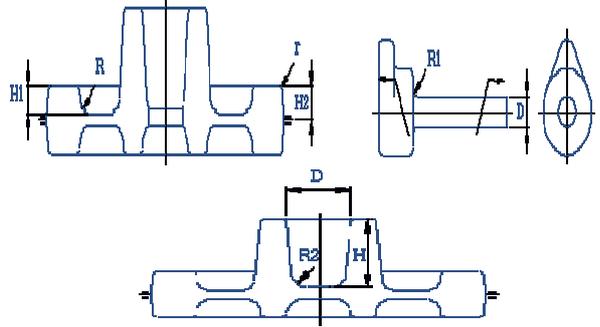
④리브(Rib)와 웨브(Web) 또는 보스(Boss)가 만나는 부위의 구석 반경은 가능한 크게 하는 것이 살 흐름
 을 좋게 하여 단조 결함을 방지할 수 있으며, Full Radius로 하는 것이 가장 좋다. (<그림 9>참조)



다음은 일반적으로 적용하는 반경의 예다.

<표 1> 강(鋼) 단조품의 구석 및 모서리 반경 (DIN 7523) 단위 : mm

H1, H2, D1	r	R		R1 (압셋타품)
		보통	정밀	
~25	2	4	4	2
25~40	3	6	5	3
40~63	4	10	6	5
63~100	6	16	8	8
100~160	8	25	10	12
160~250	10	40	16	20

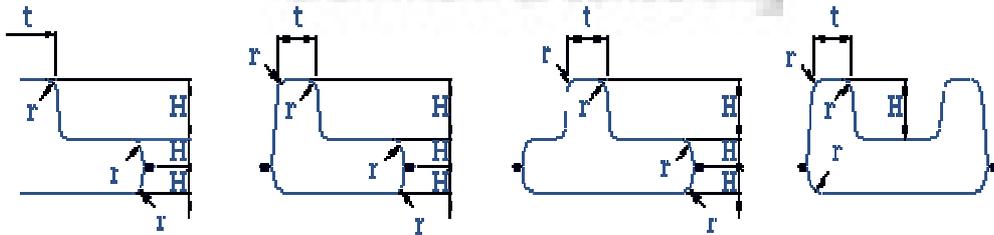


<표 2> 강(鋼) 단조품의 오목부의 반경 (DIN 7523) 단위:mm

펀치 직경 (D)	펀치의 높이 (H)									
	보통 단조품 (R2)					정밀 단조품 (R2)				
	~10	10~16	16~25	25~40	40~60	~10	10~16	16~25	25~40	40~60
~25	2.5	3	4	5	8	2	2.5	3	4	6
25~40	3	4	5	6	12	2.5	3	4	5	8
40~63	4	5	6	8	16	3	4	5	6	10
63~100	5	6	8	12	22	4	5	6	8	16
100~160	6	8	12	16	32	5	6	8	12	20
160~250	8	10	16	20		6	8	12	16	

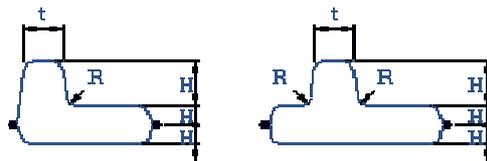
<표 3> 모서리 반경 단위 : mm

H(단의 높이)	~10	10~16	16~25	25~40	40~63	63~100	100~160
0.5~1.0	2.5	2.5	3	4	5	8	12
1.0 이상	2	2	2.5	3	4	6	10



<표 4> 구석 반경 단위 : mm

H(단의 높이)	~10	10~16	16~25	25~40	40~63	63~100	100~160
0.5~1.0	4	5	6	8	10	16	25
1.0 이상	3	4	5	6	8	12	20

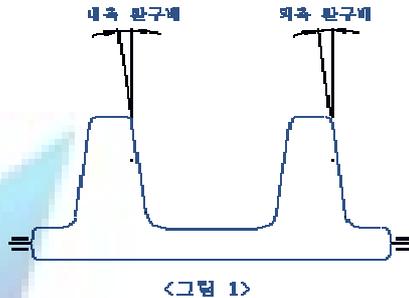


8.4.6. 발구배 (拔勾配 : Draft Angle)

발구배란 단조품을 금형으로부터 분리하기 쉽게 하기 위하여 단조면(Forging Plane)에 직각 방향으로 주어진 각도를 말한다. 발구배는 이형(離型)을 쉽게 할뿐만 아니라 살 흐름을 좋게 하여 살 참을 돕고, 단조 결함을 방지하는 역할도 한다. 그리고 금형 가공 시 공구의 강도를 높이는 효과도 있다. 그러나 발구배는 불필요한 덧 살로 인하여 재료를 낭비하게 되고, 단조품의 중량을 증가시키며, 후 공정에서의 가공량을 많게 하여 공구의 수명을 단축시키고 생산성을 낮추는 요인이 된다.

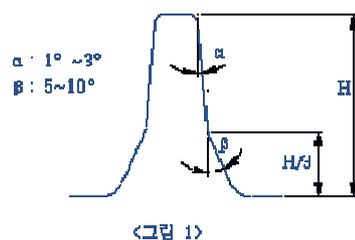
8.4.6.1. 발구배의 종류

발구배는 내측 발구배와 외측 발구배로 구분할 수 있다. 형타 후 단조품은 냉각되면서 수축하게 된다. 따라서 외측 발구배 면은 단조품이 수축하면서 금형과 단조품 사이에 간격이 생기게 되어 이형을 하기가 쉽게 되지만, 내 측 발구배 면은 단조품이 수축하면서 금형에 더욱 압착하게되어 이형을 더욱 어렵게 한다. 따라서 내측 발구배는 외측 발구배 보다 2°~3° 크게하는 것이 바람직하다.



8.4.6.2. 발구배의 결정

발구배의 크기는 단조 설비, 단조품의 형상 및 크기 등을 고려하여 설정하지만 일반적인 표준 각도는 1°, 3°, 5°, 7°, 10° 등이다. 보통의 금형 공장에서는 표준 각도의 공구를 보유하고 있으며, 표준 이외의 발구배를 가진 단조품의 경우에는 특별한 공구를 필요로 하기 때문에 제작 기간이 길어지고, 제작비용이 상승할 수도 있다. 발구배는 각 단조 업체의 장비, 기술 수준, 작업 방법 등 각각의 특성에 따라 다르므로 원칙적인 표준은 없다. 그러나 발구배의 주목적이 이형(離型)에 있으므로 형조 깊이가 깊은 경우에는 큰 각도의 발구배가 필요하게 되며, 폭 및 길이가 큰 단조품의 경우에는 냉각 시 수축되는 양이 많으므로 이형이 용이하게 되어 작은 발구배로도 단조가 가능하다. 강의 단조품에서는 Hammer의 경우에는 3°~ 10°, 녹크 아웃 장치가 있는 프레스의 경우에는 1°~ 3°가 일반적이며, 업셋터의 경우 형조부는 0°~3°, 그립(Grip)부는 0°~1°로 하는 것이 보통이다. 그러나 함마나 프레스의 경우 녹크아웃 장치가 없으면 3°이하의 발구배로는 작업이 곤란하다. 녹크아웃 장치가 있는 프레스의 경우 단조품의 특성에 따라 발구배를 0°~1°로 하는 경우도 있으나 이때는 형 무너짐, 형 마모 등이 극심하게 일어나게 되어 금형 수명이 현저히 줄어든다. 또한 상형 측의 발구배가 극히 작을 경우에는 브로카 또는 피니사에서 형 어긋남이 발생하면 제품의 돌출 부분이 금형에 깔려 내려와 살 겹침이 발생하기도 한다. 따라서 발구배가 작은 경우에는 금형의 열처리, 표면 처리, 표면조도 등에 각별한 관리가 필요하게 되며, 형 어긋남을 방지할 수 있는 방법을 강구해야 한다. 또한 깊은 리브(Rib) 등의 경우에는 끝단부의 살을 채우기 위하여 발구배를 줄이는 경우도 있다. 이는 발구배가 클수록 금형과 재료의 접촉 면적이 많아져서 마찰 저항이 크게되어 살참이 더욱 어렵기 때문이다. 이런 경우에는 이형을 쉽게하기 위하여 발구배를 2단으로 하기도 한다. (<그림 2> 참조)



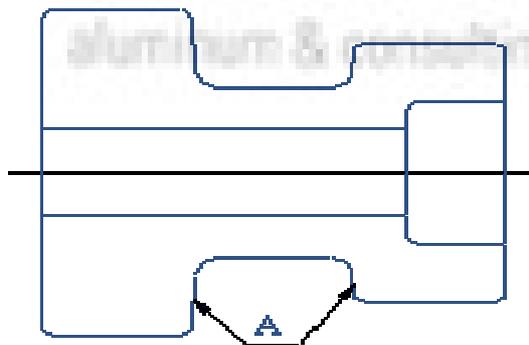
일반적으로 발구배의 크기에 영향을 미치는 요소들은 다음과 같다.

- ① 단조 기계의 종류 (Hammer, Press, Upsetter 등)
- ② 녹크아웃(Knock-Out) 장치의 유무, 스트로크, 능력
- ③ 단조품의 형상 및 크기 (형조부의 깊이 및 폭)
- ④ 단조 방법 (일반 형단조, 밀폐단조, 압출단조 등)
- ⑤ 중간 공정(황지, 브로카 등)에서의 형상
- ⑥ 리브(Rib)의 구석 반경, 프래쉬 면취 반경
- ⑦ 금형의 표면조도, 표면처리 방법, 열처리 방법

다음은 일반적으로 적용하는 발구배의 예다.

<표1> 강의 형단조품 발구배 (DIN 7523)

사용 기계	내측		외측	
	각도	용도	각도	용도
Hammer	9°	보통	9°	높은 RIB의 경우
	6°	펀치가 긴 경우	6°	보통
			3°	평탄한 원형
Press	9°	깊은 구멍의 경우	6°	평탄한 원형
	6°	보통	3°	보통
	3°	녹크 아웃이 있는 경우	1°	녹크 아웃이 있는 경우
Upsetter	3°	구멍, 홈이 있는 경우	3°	아래 그림의 A면
	0~1°	보통	1°	보통
			0°	그립(Grip)면



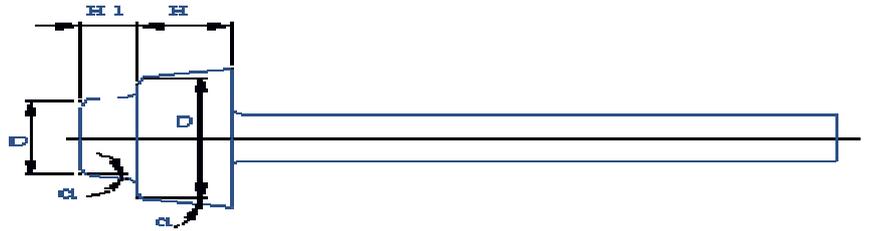
<표2> 강의 형단조품 발구배

높이 또는 깊이		보통 단조품		정밀 단조품	
		발구배	공차	발구배	공차
외측	6.4~12.7	-	-	3°	2°
	19.0~25.4	5°	3°	-	-
	12.7~25.4	-	-	5°	2°
	25.4~76.2	7°	3°	5°	3°
	76.2~	7°	4°	7°	3°
내측	6.4~12.7	7°	3°	5°	3°
	25.4~	10°	3°	10°	3°

<표3> 업셋타 단조품의 발구배

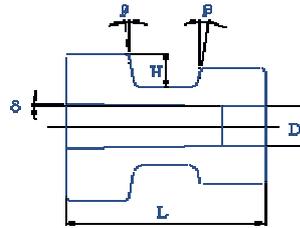
1. 펀치에 의하여 성형되는 부분의 발구배

H/D	발구배(α)
~0.3	0°
0.3~1.3	0°15'
1.3~2.3	0°30'
2.3~3.3	0°45'
3.3~4.3	1°



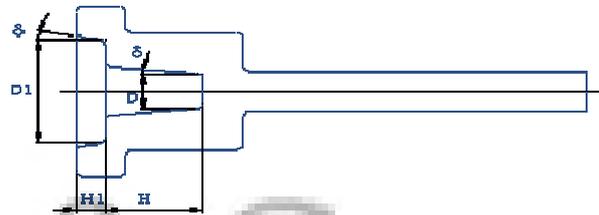
2. 인서트에 의하여 성형되는 부분의 발구배

H(mm)	발구배(β)
~12.7	1°
12.7~25.4	3°
25.4~50.8	5°
50.8~76.2	7°
76.2~	10°



3. 펀치에 의하여 성형되는 오목 부분의 발구배

H/D	발구배(δ)
~0.5	0°
0.5~2.5	0°30'
2.5~4.5	1°
4.5~6.5	1°30'
6.5~8.5	2°



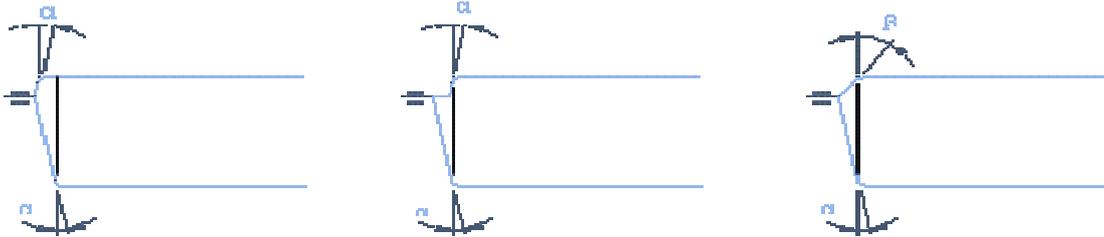
8.4.6.3. 형할선에서 발구배의 Matching

형할선에서 상·하형의 형조 깊이가 다를 경우에는 형조 깊이가 깊은 쪽의 발구배를 먼저 작도하는 것이 원칙이다. 이는 형조 깊이가 얇은 쪽의 발구배를 먼저 작도할 경우에는 발구배의 Matching 방법에 따라 깊은 쪽의 발구배가 작아지게 되거나 가공 여유를 확보하지 못하는 경우가 발생하기 때문이다. 형할선에서 상·하형의 형조 깊이가 다를 경우 형할선 상에서 발구배를 Matching 시키는 방법은 다음과 같이 3가지가 있다.아래의 <그림 3>에서

(a)는 형할선에서 형조부가 깊은 쪽 발구배의 끝 선을 기준으로 상·하형이 동일한 각도의 발구배를 가진 경우이다. 이때는 양측의 발구배의 각도가 동일하므로 금형 가공 시 동일한 공구를 사용할 수 있으므로 금형 제작이 용이하지만 덧 살의 양이 많게되어 단조품의 중량이 증가하게되고, 후 공정에서의 가공량이 많아지게 된다.

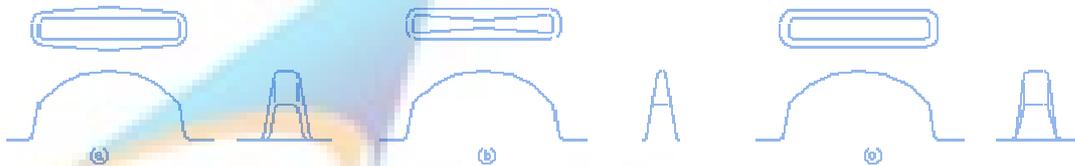
(b)는 상·하형 모두 금형의 바닥 쪽에서부터 형할선 쪽으로 동일한 각도를 가지는 경우이며, 이때 형할선에서 양쪽의 발구배는 Matching 되지 않는다. 이 경우에는 (a)의 경우와 마찬가지로 발구배의 각도가 동일하므로 금형 가공 시 동일한 공구를 사용할 수 있으므로 금형 제작이 용이하며, 단조품의 중량도 증가하지 않고, 후 공정에서 가공 량도 가장 적다. 그러나 형할선에서 양쪽의 발구배는 Matching 되지 않으므로 외관이 좋지 않기 때문에 지금까지는 거의 사용하지 않는 방법이었다. 그러나 이 방법은 가장 경제적인 방법이며, 일부 단조품을 제외한 대개의 단조품은 외관보다는 기능에 중점을 두고 있으므로 이방법의 사용을 적극 권장하고 싶다.

(c)는 형할선에서 형조 깊이가 깊은 쪽의 발구배 선과 얇은 쪽의 금형 바닥 선을 연결하는 방법으로 외관이 중요한 단조품의 경우에 적용하는 것이 좋다. 이 경우에는 양측의 발구배 각도가 달라지게 되며, 형조 깊이의 변화에 따라 발구배가 변화하게 되므로 금형 제작이 매우 어렵다. 발구배에 의한 덧 살의 양은 (a)의 경우보다는 적지만 (b)의 경우보다는 많다. 따라서 이 방법은 특히 외관이 중요한 제품 이외에는 적용하지 않는 것이 좋다.



8.4.6.4. 발구배의 기준 위치 결정

발구배는 그 시작 기준의 위치에 따라 3가지로 분류할 수 있으며, 각각의 방법에 따라 단조품의 형상, 크기 및 금형 제작의 난이도가 달라진다. <그림 4>와 같이 동일한 폭을 가지며 높이가 변화하는 리브의 형상을 예로 발구배의 기준 위치와 그 형상 변화에 대하여 살펴본다.



<그림 4> 발구배의 기준 위치에 따른 형상의 변화

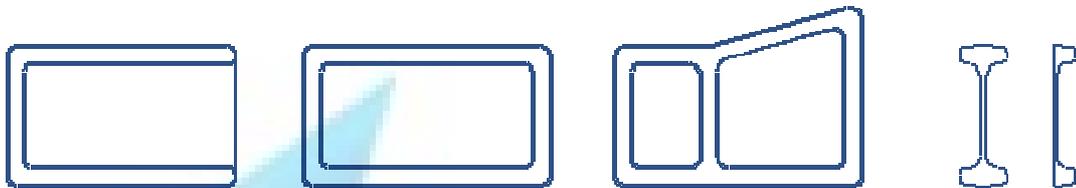
(a)의 경우에는 동일한 발구배로 리브의 끝단(금형의 바닥선)을 기준으로 하는 경우이다. 이때는 리브 끝단의 폭이 동일하게 되고, 발구배에 의해 형성되는 리브의 시작점에서는 높이의 변화에 따라 폭의 크기가 변화하게 된다. 따라서 이런 경우에는 금형 가공 시 표준 공구를 사용하여 전후 및 상하 방향으로만 움직여 가공할 수 있으므로 금형 가공이 용이하여 금형 제작비용을 최소화할 수 있는 방법이다. 그러나 리브의 측면을 가공해야 할 경우에는 발구배에 의한 덧 살의 양이 많아 가공 양이 많아지게 되는 단점도 있다. 일반적으로 단조도면상에 특별한 언급이 없는 경우에는 모두 이 방법에 의한 발구배를 적용하는 것으로 해석한다.

(b)의 경우에는 동일한 발구배로 리브의 시작점을 기준으로 하는 경우이다. 이때는 리브 시작점의 폭이 동일하게 되고, 발구배에 의해 형성되는 리브의 끝단에서는 높이의 변화에 따라 폭의 크기가 변화하게 된다. 따라서 이런 경우에는 금형 가공 시 표준 공구를 사용하여 가공할 수는 있으나, 전후, 상하 및 좌우 방향으로 공구를 움직여 가공해야하므로 금형 가공이 다소 어려우며 금형의 제작비용도 상승하게 된다. 그리고 발구배에 의하여 리브 끝단의 폭이 줄어들게 되므로 리브의 측면을 가공해야 할 경우에는 리브 끝단에서 흑피(가공되지 않고 단조 상태로 남아있는 부분)가 발생할 수 있다.

(c)의 경우에는 리브의 끝단과 시작점을 모두 동일한 폭으로 유지하는 방법이다. 이 때는 리브의 시작점과 끝점이 모두 동일한 폭을 유지하므로 높이의 변화에 따라 발구배가 변화하게 된다. 따라서 금형 가공 시 표준 공구의 사용이 어렵고, 금형 제작이 어려워 금형 제작비용이 가장 많이 들게 된다. 그러나 발구배에 의한 덧 살의 양이 일정하므로 리브의 측면의 가공에는 가장 유리하다. 하지만 가공 상 특별한 어려움이 없으면 가능한 이 방법은 사용하지 않는 것이 좋다.

8.4.7. 웨브 (WEB)

웨브는 단조면(Forging Line)과 평행한 얇은 부분을 말한다. 웨브는 쉽게 생각되어 보다 큰 단조 압력을 필요로 한다. 그래서 일반적으로 웨브의 최소 두께는 투영면적(단조품의 평면도상의 면적)에 의하여 결정된다. 이때 피어싱(Piercing) 되는 구멍의 투영면적은 제외한다. 그리고 얇은 웨브를 가진 단조품은 웨브부가 냉각에 의한 수축이 다른 부분에 비하여 빠르게 진행되므로 두께 공차를 관리하는 것이 매우 어렵다. 물론 다른 치수에도 많은 영향을 미친다. 또한 웨브가 얇으면 일시적인 금형의 탄성 변형에 의하여 웨브의 중앙부가 바깥쪽 보다 두껍게 되기도 하고, 심한 경우에는 금형이 영구변형을 일으키는 등 금형의 변형, 제품의 결육 또는 결함을 유발시킨다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 웨브의 내 측에서 외측으로 테이퍼를 주거나 피어싱 되는 제품의 경우에는 이 부분을 플래시 거트의 효과를 가져올 수 있도록 하여 살흐름을 좋게 하여 단조 압력을 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 또한 웨브는 과잉 소재가 플래시 거터로의 유동이 쉬운 정도에 따라 개방형과 폐쇄형으로 구분할 수 있다. 폐쇄형은 소재의 유동이 어려우므로 개방형보다 웨브의 두께를 두껍게 해야 한다.

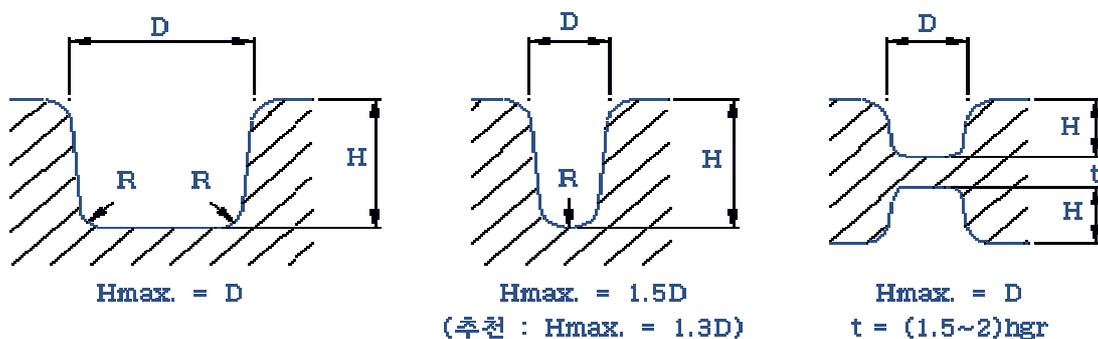


<그림 1> 폐쇄형 웨브



<그림 2> 개방형 웨브

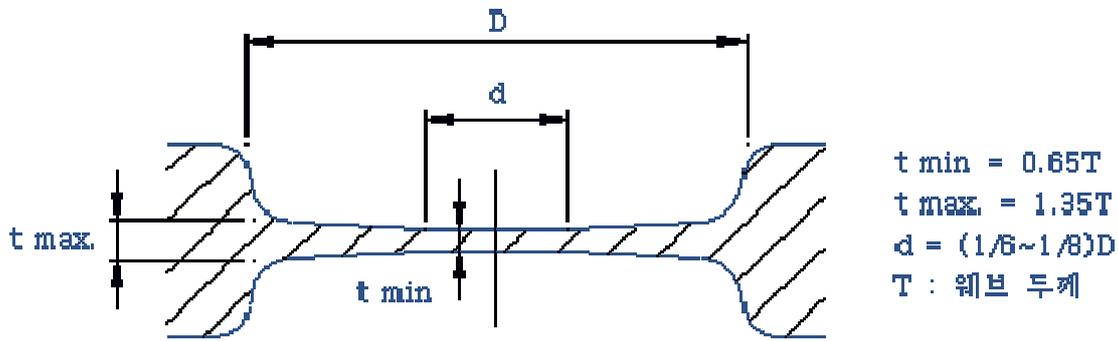
8.4.7.1. 웨브의 직경이나 투영면적이 작은 경우에는 다음과 같이 금형의 돌출 부분(Die Peg)의 치수에 따라 웨브의 두께를 결정한다.



<그림 3> 웨브의 깊이

8.4.7.2. 웨브의 테이퍼

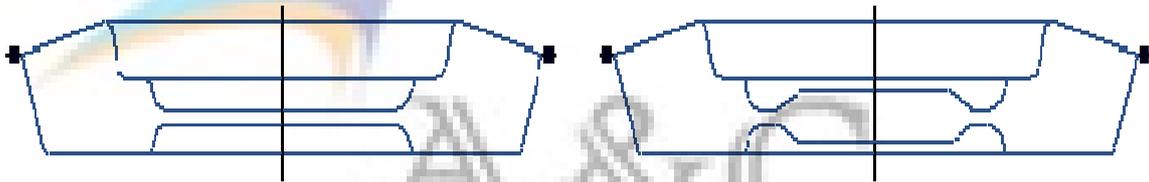
넓고 얇은 웨브의 경우 웨브의 중심부로부터 바깥쪽으로 테이퍼를 주면 살의 흐름이 좋아지며, 단조 압력이 감소하게 된다. 그러나 웨브부가 피어싱 되는 경우에는 이 방법보다 웨브부에 플래시 거터부를 설치하는 것이 더 나은 방법이라 하겠다.



<그림 4> 웹부의 테이퍼

8.4.7.3. 웹부에 플래시 거터 설치

웹부가 피어싱되는 경우에는 얇은 웹부의 성형성을 좋게 하기 위하여 브로카의 형상에서는 테이퍼를 줌으로서 살의 흐름을 좋게 하고, 피니샤에서는 내 측에서의 저항이 최소가 되도록 플래시 거터를 설치한다. 이때 내측 플래시는 제품의 형상이나 크기, 웹의 형상, 크기, 사용기계 등을 고려하여 설계해야 하지만, 일반적으로 외측 플래시와 같은 방법으로 설계하며, 플래시 두께는 외측 플래시의 1.5배 정도이면 적당하다. 그리고 브로카의 내측부의 체적이 피니샤의 체적보다 많게 되면 피니샤 작업시 제품이 완전히 성형되기 전에 플래시 거터부에 살이 다 차게되어 플래시 거터는 소정의 목적을 달성할 수 없게된다. 따라서 브로카의 내 측 부의 체적이 피니샤의 체적보다 적도록 하여 피니샤 작업 시 플래시 거터 부에는 70~80%의 살이 차도록 하는 것이 가장 좋다.



<그림 5> 웹부의 플래시 거터

8.4.7.4. 웹 두께의 추천치

웹 두께는 여러 가지 변수에 의하여 결정되며, 이것이 아니면 안 된다는 법칙은 없다. 그러나 웹의 최소 두께는 플래시 두께보다는 두꺼워야 한다. 플래시 두께는 얇을수록 보다 큰 단조 압력을 요구하게 되며, 따라서 성형성이 나빠져서 제품에 결함을 유발시키고, 금형의 변형, 마모가 빠르게 되어 금형 수명이 감소하게 되어 결국은 단조품의 제조 원가를 상승시키게 된다는 것을 명심해야 한다.

다음은 일반적으로 사용되는 웹 두께의 예다.

① 웨브부의 투영면적에 대한 웨브의 두께

F_s	20	50	80	100	150	200	300	500	1000	2000
t										
최소	4	45	5.5	6	6.5	7	8	8.5	11	12
추천	7	9	10.5	11	12	13	14	16	18	20

F_s : 투영 면적 (cm^2) t : 웨브 두께 (mm)

② 리브의 높이와 웨브의 폭에 따른 웨브의 최소 두께

h	~10	10~25	25~40	40~50	50~65	65~70
w/h						
2	3.5	4.5	5.5	7	8.5	9.5
3	3.5	5.5	7	8.5	10	11.5
4	4	6.5	8	9.5	11	12.5
5	4.5	7	9	10.5	12	14
6	5	7.5	9.5	11	13	
7	5.5	8	10			
8	6	8.5	10.5			
9	6.5	9				
10	7	9.5				

h : 리브의 높이 (mm) w : 웨브의 폭(두께) (mm)

8.4.8. 형할선(型割線 : Parting Line)

형할선은 금형의 상형과 하형을 분리하는 선(또는 면)을 말한다. 형할선으로는 플래시가 나오게 되며, 플래시는 형조부(型彫剖) 내에 살을 채우는 아주 중요한 역할을 하게 된다. 따라서 플래시의 위치는 경제적, 기술적, 품질적 조건을 충분히 만족시키는 위치에 설정되어야 한다. 그래서 형할선의 설계는 단조 품 설계에서 아주 중요한 부분이라 할 수 있다.

8.4.8.1. 형할선의 설계

형할선의 설계 시 설계자는 상반된 여러 가지 조건에 직면하게 된다. 금형 제작 용이성, 기계 가공 공정에서의 가공 부하, Metal Flow 등 여러 문제들이 형할선 선택시 설계자를 혼란에 빠뜨리게 된다. 이런 여러 가지 조건을 동시에 만족시키도록 형할선을 설계할 수는 없다. 따라서 설계자는 제품의 특성, 단조 설비, 금형 제작 설비, 후처리 등을 검토하여 최적의 위치에 형할선을 설계해야 한다.

다음은 형할선 설계시 고려해야 할 일반적인 사항들이다.

- ① 단조 설비
- ② 금형 설계, 제작의 용이성
- ③ Metal Flow
- ④ 트리밍 작업성
- ⑤ 기계 가공 여유
- ⑥ 형어긋남
- ⑦ 살채우기 용이성
- ⑧ 단조 공차
- ⑨ 단조 결함 발생 방지 등

8.4.8.2. 형할선과 금형 제작

형할선은 가능하면 1개의 평면으로 하는 것이 가장 좋다. 형할선이 한 개의 평면인 경우에는 금형 제작이 용이하며, 단조 작업 시 형어긋남을 최소화 할 수 있게 된다. 형할선이 2개 이상의 평면으로 구성될 경우에는 수평면에 대하여 경사지게 되는 평면을 갖게되며, 이 부분에서는 단조 작업 시 수평방향의 힘이 발생하게 되고, 이는 형어긋남을 유발시키며, 단조 기계의 가이드에 손상을 주게된다. 이런 경우에는 형 어긋남을 방지하기 위하여 금형에 가이드를 설치하게 되며, 가이드로 인하여 금형재의 낭비와 제작 시간이 증가하게 되어 금형 제작비용이 상승하게 되고, 금형의 관리에도 더 많은 시간과 노력이 필요하게 된다. 이런 경우에는 수평 방향의 힘을 없애거나 최소화시키기 위한 방법을 검토하여 경제적인 단조 작업이 되도록 하여야 한다.

8.4.8.3. 형할선과 재료의 흐름

형할선은 재료의 흐름이 용이하여 형조부 내에 완전히 살을 채울 수 있도록 설계되어야 한다. 단조품의 단면은 형조 깊이가 깊을 수록 많은 양의 재료 유동이 필요하게 되며, 따라서 모서리 부분의 살참이 어렵게 되고 단조 결함이 발생할 확률도 높아진다. 또한 발구배에 의한 덧살의 양이 많아지게 되어 단조품의 중량이 증가하고 기계 가공에서 가공량을 증대시켜 재료 및 가공 시간의 낭비를 초래하게 된다. 따라서 형할선은 위의 사항을 충분히 검토하여 가능한 형조 깊이를 얇게 하여 재료의 유동을 최소화하는 것이 좋다.

8.4.8.4. 형할선의 경사 각도

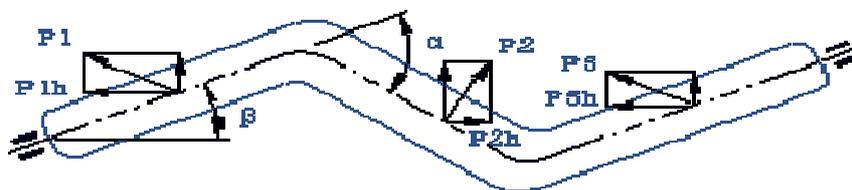
형할선이 단조면에 대하여 경사지게 되면 금형 제작비용을 상승시키며, 단조 작업 시 수평 분력의 발생으로 형어긋남을 일으키게 된다. 또한 트리밍량이 많게 되어 트리밍날(Trimming Cutter)의 마모가 극심하게 되며, 플래시부의 덧김 현상이 발생할 수 있다. 그러나 제품의 특성상 형할선의 경사가 불가피한 경우에는 경사각도를 최소화 해야하며, 수평면을 기준으로 75°를 넘지 않는 것이 좋다.



<그림 2> 형할선의 각도

8.4.8.5. 형할선의 균형

굽은 형상의 형할선을 가진 단조품은 형 어긋남을 최소화하기 위하여 일정 각도를 기울여서 설계한다. 형할선에 따라서는 앞뒤 또는 좌우로 형 어긋남이 발생하게 되며, 설계자는 수평 분력의 크기 및 방향을 분석하여 이 수평 분력을 없애거나 최소화 할 수 있도록 형할선을 설계해야 한다. 형할선의 균형이란 단조품의 각 부분에서 발생하는 수평 분력의 합이 '0'이 되도록 하는 것이다. 따라서 아래 그림에서 $F1 \cdot h + F3 \cdot h = F2 \cdot h$ 가 되면 형할선은 균형을 이루게 된다.



<그림 3> 형할선의 균형

여기서 형할선의 균형을 이루기 위해서는 $\tan\beta = \sin\alpha / \{(F1 + F3 / F2) + \cos\alpha\}$ 를 만족 시키는 각도 β 를 구하면 된다.

여기서 $F = A^2\sqrt{1/LV}$

A : 플래시 랜드를 포함한 평면적

L : 플래시 랜드를 포함한 각 단면의 길이

V : 플래시 랜드를 포함한 각 단면의 체적

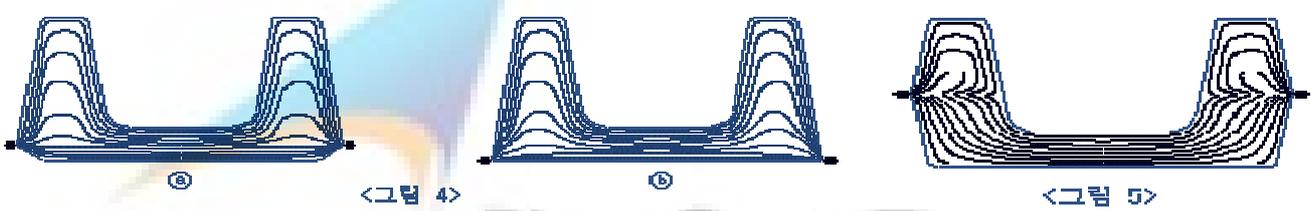
수평 분력이 3개 이상인 경우에도 마찬가지다.

8.4.8.6. 제품의 형상에 따른 형할선의 설계

(a) U 단면 형상의 단조품

① 형할선을 리브(Rib)의 아래쪽으로 할 경우

이 경우에는 리브의 살참이 어렵다. 그리고 발구배에 의한 덧 살의 양이 많게되어 재료의 낭비가 많게 되고, 가공 공정에서 가공 시간이 증가하고, 공구의 수명을 단축시켜 가공비용의 상승을 초래한다. 또한 단조 작업 시 재료의 유동이 심하게되어 금형의 수명도 감소하게된다. <그림 4>⑥의 경우 금형 가공시 상형(또는 하형)만 가공하고 반대쪽은 평 금형(Plat Die)를 사용할 수 있으므로 금형 제작비용을 절감할 수도 있으나, 단조 작업 시 소재의 위치 선정이 어렵고, 트리밍 시 플래시 밀림이 발생하여 그라인딩 공정이 추가되어야 할 수도 있으므로 제품의 특성을 고려하여 결정해야 한다.

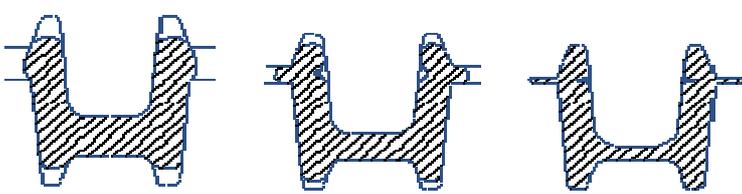


플래쉬 내측의 단조 결함

② 형할선을 리브(Rib)의 중앙으로 할 경우

①의 경우에 비하여 리브의 살참에 어느 정도 도움을 주지만 플래시 내측 부분에 단조 결함을 유발 할 수 있으며, 금형의 수명도 그다지 향상되지 않는다.

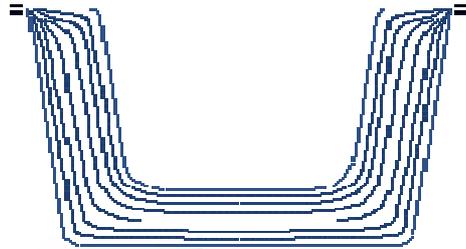
<그림 6>과 같이 상형의 리브가 깊은 경우에는 상형의 형조부에 살이 차기전에 플래시구로 살의 흐름 이 발생하게 되고 그 반대쪽에는 일시적인 공간이 발생하게되며 단조가 진행되면서 이 부분은 살 겹침 형상의 결함이 발생하게 된다. 이 부분을 부식하여 보면 결함 부분에서 Grain Flow의 이상 현상을 발견 할 수 있다. 또한, 이런 현상은 과도한 이형재(離型材)의 사용으로 소재의 내측과 외측의 살 흐름 속도에 현격한 차이가 일어나게 되어 발생하기도 한다.



<그림 6> 플래쉬 내측의 단조 결함

③ 형할선을 리브(Rib)의 끝단으로 할 경우

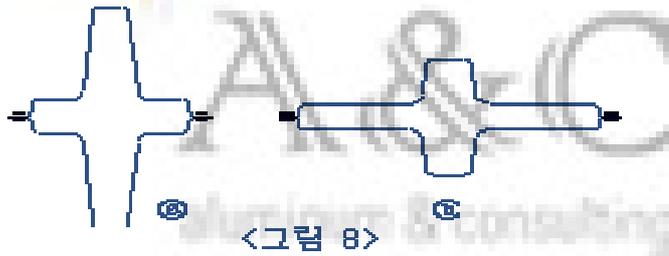
이런 종류의 단조품은 리브의 끝단에 형할선을 설치하는 것이 가장 바람직하다. 단조 작업 시 측면으로의 재료 유동을 방지하여 살참을 좋게 하며, 플래시 내측의 단조 결함을 방지할 수 있다. 그리고 후 공정에서 굽힘 공정을 추가하면 벽 두께가 균일한 제품을 얻을 수 있어 가공 여유를 최소화할 수 있다. 또한 살의 흐름이 원활하여 금형의 수명을 향상시킬 수 있고, Grain Flow가 절단되지 않아 제품의 기계적 성질을 향상시킬 수 있다. 그러나 형할선을 최 상단으로 할 경우에는 트리밍 작업 시 플래시 밀림이 발생할 수도 있으므로 플래시 밀림이 발생하지 않을 정도로 최 상단에서 약간 내려온 위치에 설치하는 것도 좋은 방법이다.



<그림 7>

(b) '十'字 단면 형상의 단조품

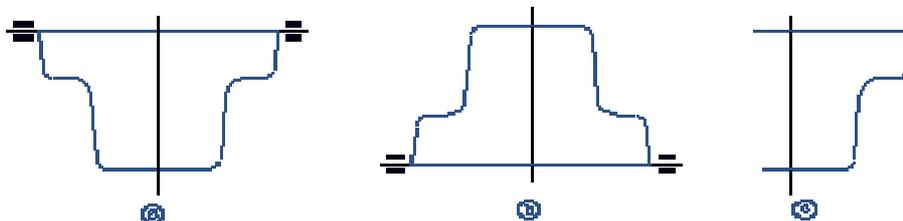
'十'字 단면 형상 단조품의 경우에는 <그림 8> ㉞와 같이 길이가 긴 쪽에 형할선을 설치하는 것이 좋다. 이는 좁고 깊은 형조부(Impression)를 피하여 금형 제작이 용이하고, 살참을 좋게 하며, 금형 파손을 방지하는 효과가 있다. 또한 발구배에 의한 덧 살의 양이 적어지게 되어 단조품의 중량을 감소시키는 효과도 있다.



<그림 8>

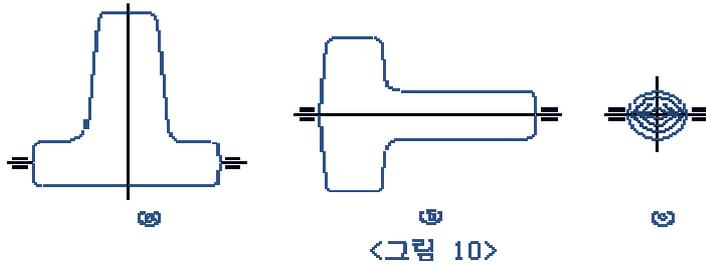
(c) 'T' 단면 형상의 단조품

축(Shaft)부의 길이에 비하여 Flange부의 폭/직경이 큰 경우에는 하형 또는 상형의 한쪽에만 형조하고 다른 쪽은 평금형(Plat Die)을 사용할 수 있다. 이 경우에는 금형 제작비용이 절감되며 형 어긋남의 우려가 없으나 트리밍시 플래시 밀림이 발생하여 그라인딩 공정을 추가해야할 경우도 있다. <그림 9> ㉞참조 또한 하형에 평 금형(Plat Die)을 사용할 경우에는 작업 시 소재의 위치 선정에 문제가 생길 수 있으므로 유의해야 한다. 따라서 설계자는 단조품의 특성을 잘 파악하여 형할선의 위치를 선정해야 한다.



<그림 9>

그리고 Flange에 비하여 축 부의 길이가 긴 경우에는 세워서(〈그림 10〉㉑) 작업하는 경우가 많으며, 이때는 축 부에 발구배에 의한 덧 살이 많게되어 단조품의 중량이 증가하고, 후 공정에서 가공량이 많아지게 된다. 이 경우에는 필요에 따라 단조 방향을 바꾸어 눕혀서(〈그림 10〉㉒) 작업하는 방법을 고려할 수도 있으며, 이 방법이 더욱 경제적일 수도 있다 그러나 이 경우에는 형할선에서 Grain Flow 가 절단되어 피로강도를 저하시키는 요인이 될수도 있으므로 주의해야 한다. 이럴 경우에는 업셋터 또는 롤링머신으로 작업하는 방안을 검토해 보는 것도 좋다.



㉑) 'L'단면 형상의 단조품

〈그림 11〉에서 ㉑의 경우에는 상형 쪽에만 형조하고 하형 쪽은 평 금형(Flat Die)을 사용할 수 있으므로 금형 제작비용이 절감된다. 그러나 발구배에 의한 덧살로 인하여 단조품의 중량이 증가하고 가공량이 많아지게 된다. 그리고 형 어긋남의 우려가 없으나 트리밍시 플래시 밀림이 발생하여 그라인딩 공정을 추가해야할 경우도 있다.

㉒의 경우에는 수평분력이 발생하게되어 형 어긋남을 유발시키며, 따라서 이를 방지하기 위하여 가이드(Counter Lock)를 설치해야 하므로 금형 제작비용이 증가하게되며, 가이드를 설치하더라도 가이드의 마모 등에 의하여 금형의 수명이 감소하게되며, 또한 단조기계의 가이드에도 무리를 주게된다. 따라서 이러한 형태의 형할선을 가능한 피하는 것이 좋다.

㉓의 경우에는 단조품을 일정한 각도만큼 기울여서 설계함으로써 자연적인 발구배가 생기게되어 발구배에 의한 덧 살이 없어서 일정한 두께를 가진 단조품을 얻을 수 있다. 그러나 이 경우에도 기울어진 각도 및 제품의 사양에 따라 수평 분력이 발생할 수 있으므로 가능하면 가이드를 설치하여 형 어긋남을 방지할 수 있도록 해야 한다. 설계 시 수평 분력에 대한 균형을 맞추었다 하여도 기계의 정도(精度)나 기타 작업 조건에 따라 형 어긋남이 발생할 수 있으므로 금형 제작비용이 어느 정도 상승하더라도 가이드를 설치해 주는 것이 좋다. 그리고 가이드의 정도(精度)는 수시로 점검하여 항상 형 어긋남에 대비해야 한다.

그리고 ㉑의 형상으로 단조하여 후 공정에서 굽힘 작업에 의하여 ㉒의 형상으로 제작하는 방법도 있으며, 이 방법은 금형 제작이 가장 용이하고 수평 분력에 의한 형 어긋남을 방지하는 효과가 있고, 또한 균일한 두께의 단조품을 얻을 수 있다. 그러나 후 공정 설비에의 제약이 있고, 공정 추가에 따른 제조비용의 상승하게 된다. 이러한 방법은 복합적인 형상의 단조품에는 적용할 수 없으며 단순한 형상의 단조품에만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

일반적으로 단조품은 복합적인 단면 형상을 갖고 있으므로 설계자는 기술적, 경제적, 품질적인 측면을 고려하여 형할선 및 공정을 설정해야 한다. 결론적으로 'L'단면 형상의 단조품은 제품의 품질, 금형 비용, 작업성 등을 고려할 때 ㉓의 방법을 권장한다.



(e) 'H'단면 형상의 단조품

H'단면 형상의 단조품은 'U'단면 형상의 단조품과 유사하다고 생각하면 무난하다.<그림 12>㉔의 경우에는 'U'단면 형상의 경우와 마찬가지로 플래시 내 측 부위에 단조 결함이 발생할 소지가 많다. 또한 플래시 부분에서 Grain Flow가 절단되어 피로강도를 저하시킨다.

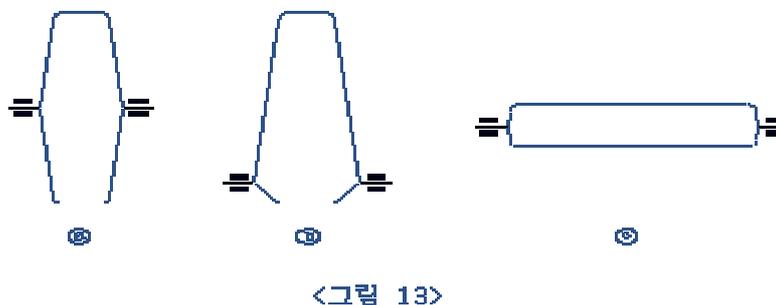
<그림 12>㉕의 경우는 일반적으로 가장 많이 응용되는 형상으로 금형 제작이 용이하고 ㉔의 경우보다 단조 결함의 발생 확률이 적다. 그리고 Buster나 Blocker의 설계가 잘못되었을 경우에는 내측 구석부에 결함이 발생할 수도 있으나, 발구배에 의한 덧 살의 양이 적게되어 후 공정에서의 가공비용을 절감할 수 있다.

그림 12>㉖의 경우는 Grain Flow가 절단되지 않고 연결되어 있으므로 강도상 가장 좋은 방법이라 할 수 있다. 그러나 ㉔,㉕의 경우보다 덧 살의 양이 많게되어 후 공정에서의 가공에 불리하며, 트리밍 작업 시 플래시 밀림이 발생한다. 따라서 이런 형상의 형할선은 축 대칭형이나 Channel 형상의 경우에는 적용이 가능하지만 복합적인 형상의 경우에는 적용되는 예가 드물다.



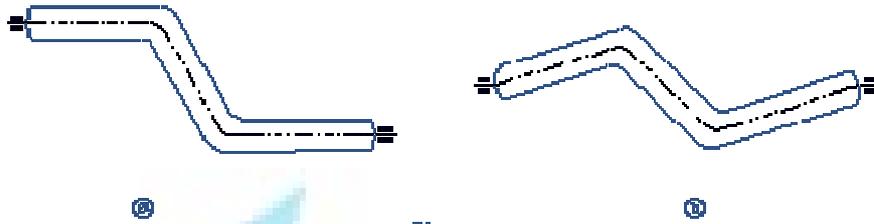
(f) 'I'단면 형상의 단조품

I'단면 형상의 단조품의 경우에는 가능하면 단조 방향을 <그림 13>㉔와 같이 눕혀서 작업되도록 설계 하는 것이 바람직하다. 그러나 이 경우에는 Grain Flow가 절단되게 된다.(I'단면 형상의 단조품 참조)I' 단면 형상의 단조품은 재료의 유동을 적게 하여 모서리부의 살 참을 좋게 하기 위하여 <그림 12>㉔와 같이 중간 부분에 형할선을 설치하는 것이 좋다. ㉕의 경우와 같이 형할선이 아래쪽이나 위쪽으로 치우 치게 되면 모서리부의 결육이 발생하기 쉽고, 한쪽 방향으로 소재의 흐름이 급격하게 일어나게 되어 금 형의 마모를 촉진하게 된다. 그러나 부득이 형할선을 중간 부분에 설치할 수 없을 경우에는 형조 깊 이가 깊은 쪽을 상형으로 하는 것이 좋다. 이는 Hammer 단조의 경우에는 반작용에 의한 살참이 좋으며, 프레스 단조의 경우에는 함마에 비하여 단조 속도가 빠르지 않으므로 큰 효과는 기대할 수 없으나 하 형보다는 상형 쪽의 살 참이 좋기 때문이다. 그러나 프레스의 경우에는 일반적으로 소재의 위치 선정, 녹크아웃 방법 등의 문제로 대부분 깊은 형조부를 하형으로 하는 경우가 많으므로 제품의 형상, 작업 방법, 소재의 위치 선정 방법을 고려하여 결정해야 한다.



(g) 'ㄴ' 단면 형상의 단조품

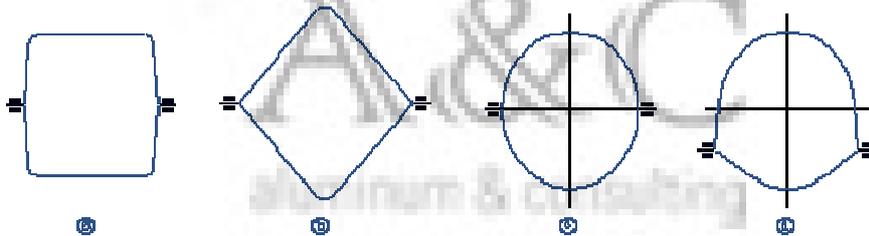
<그림 14>①와 같은 형할선을 가진 단조품은 수평 분력(Side Thrust)에 의하여 형 어긋남이 발생하게 되며, 이를 방지하기 위하여 가이드(Counter Lock)를 설치해야 한다. 따라서 금형 제작이 어렵게 되고, 금형 제작비용이 증가하게 된다. 그러나 가이드를 설치하더라도 형 어긋남을 완전히 막을 수는 없다. 단조 작업 시 횡 방향으로 큰 힘이 작용하게 되면 가이드는 일시적으로 탄성변형을 하게 되며, 이때 형 어긋남이 발생할 수 있다. 이때의 변형은 타격 후에는 원상 복구하게 되어 금형의 검사 시는 발견할 수 없으므로 형 어긋남의 원인을 추적하는데 어려움을 겪게 된다. 그리고 가이드로서 초기의 형 어긋남은 방지할 수 있으나 수평 분력을 반복적으로 받게 되면 가이드부는 급격하게 마모되어 다시 형 어긋남이 발생하게 된다. 따라서 이 경우에는 형할선이 균형을 이룰 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다.



<그림 13>

(h) '□' 및 '○' 단면 형상의 단조품

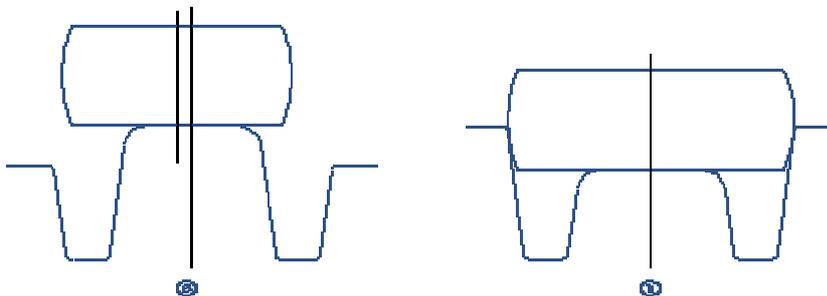
<그림 15>①, ②의 경우에는 발구배에 의한 덧 살이 붙게되어 단조품의 중량이 증가하고 후 공정에서의 가공 부하를 증가시킨다. ③, ④의 경우에는 자연적인 발구배가 생기게 되어 발구배에 의한 덧 살을 없앨 수 있다. 그러나 크랭크 샤프트(Crank Shaft)와 같이 복잡한 형할선을 갖게되는 경우에는 제품의 형상 및 금형의 강도 등을 고려하여 ①, ②의 방법으로 형할선을 설계해야할 경우도 있다.



<그림 13>

(i) 하형에 Peg가 있는 경우

그림 16>①와 같이 Peg의 높이가 형할선 보다 높게되면 소재의 위치 선정을 정확히 할 수 없게 되어 한쪽에는 결육이 발생하고 다른 쪽에는 플래시 양이 너무 많게 되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 이런 경우에는 <그림 16>②와 같이 형할선의 위치를 Peg의 위치보다 높게 설정하여 금형 내에서 소재의 위치가 정확히 설정될 수 있도록 한다.



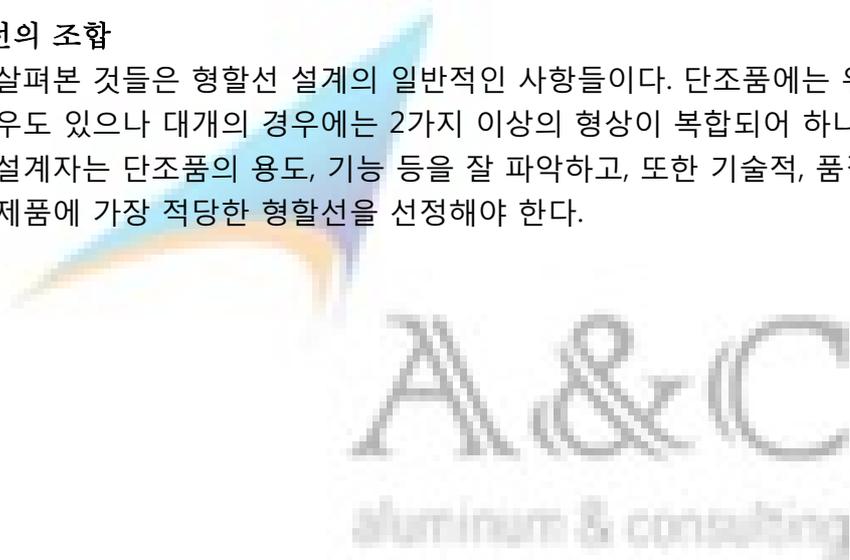
<그림 13>

(j) 형할선과 Grain Flow

Cast Ingots는 단조, 압연 등에 의하여 합금성분, 편석, 결정 입자 등이 일정한 방향으로 정렬하게 된다. 이러한 일련의 작업에 의한 결정의 방향 Pattern을 Grain Flow Pattern이라고 한다. Grain Flow는 강도, 인성, 충격, 피로저항 등에 방향적인 특성을 갖게 한다. 단조품은 최대 강도를 갖는 방향으로 Grain Flow가 정렬될 수 있도록 설계되어지며, 단조품이 최대 하중에 견딜 수 있는 능력은 Grain Flow 방향으로 하중이 걸릴 때이다. 그리고 단조품에서 Grain Flow는 제품의 형상 및 형할선의 위치에 따라 형성된다. 따라서 형할선의 위치는 단조품의 방향 특성 및 Grain Flow에 직접적인 영향을 주게된다. 주조품은 Grain Flow가 없으며, Bar Stock 또는 Plate는 일정한 한쪽 방향으로만 Grain Flow를 갖고있다. 따라서 절단 가공에 의하여 필요한 형상을 만들게 되면 Grain Flow가 절단되고, 피로 및 부식에 대한 응력이 저하된다. 그러나 단조품은 제품의 형상이 완성된 제품의 형상에 최대한 가깝게 설계되므로 Grain Flow가 절단되지 않고 연결되어 절단 가공품에 비하여 피로 및 부식에 대한 응력이 높아지게된다. 이것은 단조품의 가장 큰 장점중의 하나이다.일반적으로 단조품의 결함은 Grain Glow Pattern이 좋지 않아서 발생하는 경우가 많으므로 형할선의 설계 시에는 Grain Flow Pattern을 신중히 검토해서 결정해야 한다.

(k)형할선의 조합

위에서 살펴본 것들은 형할선 설계의 일반적인 사항들이다. 단조품에는 위의 어느 한가지 경우에 해당하는 경우도 있으나 대개의 경우에는 2가지 이상의 형상이 복합되어 하나의 단조품을 만들게 된다. 그러므로 설계자는 단조품의 용도, 기능 등을 잘 파악하고, 또한 기술적, 품질적, 경제적 특성을 검토하여 각각의 제품에 가장 적당한 형할선을 선정해야 한다.



8.5.금형설계

8.5.1.공정 설계

단조품 설계는 제품 설계 단계에서 단조 설비, 단조 공정 등을 검토하여 형상, 치수 등을 결정해야 한다. 그리고 금형 설계 단계에서는 구체적인 사양들을 검토하여 단조 제품 도면 및 사양서 등에 명시된 품질 사양을 만족시키고 가장 경제적인 생산이 이루어지도록 제조 방안을 검토해야 한다. 금형 설계 단계에서는 Metal Flow, 치수 정도(精度) 및 품질 사양, 회수율, 금형 수명, 소요하중 및 에너지, 생산성, 납기, 경제성 등을 고려해야 한다.형단조품의 성형 공정은 소재를 단계적으로 변화시켜 마지막에 단조품 형상을 성형하게 된다. 따라서 설계자는 단조품의 형상, 형상의 복잡도, 생산 수량 등을 검토하여 중간 공정을 설계해야 한다. 단조 금형의 설계는 피니샤 형상의 결정, 피니샤 형상의 체적 분배, Flash 체적 결정, 황지 형상 결정, 소재 치수 결정, 폭 방향 체적 분배, 단면 황성형 형상 결정 등의 순으로 이루어지게 된다.

8.5.2.공정의 결정

먼저 단조품이 형상, 작업성, 회수율, 금형 수명, Grain Flow 방향 등을 검토하여 종타(縱打)로 할 것인지 횡타(橫打)로 할 것인지를 결정한다. 일반적으로 제V류(평면도 상에서 원형, 정방형 및 이와 유사한 형상의 단조품)의 경우에는 종타를 하며, 그외의 경우에는 대부분 횡타로 작업된다.

8.5.3.공정수의 결정

단조 공정수는 단조품 형상의 복잡도, 단면 변화 정도 등에 따라 결정된다. 일반적으로 1공정 단조품은 거의 없다. 보통은 업셋팅(Upsetting), 피니샤(Finisher)의 2공정 또는 업셋팅(Upsetting), 브로카(Blocker), 피니샤(Finisher)의 3공정으로 이루어지지만 경우에 따라서는 황성형, 벤딩 등의 공정이 추가되기도 한다. 그러나 형상이 복잡하고, 단면 변화가 심한 경우에도 가능한 3공정을 넘지 않는 것이 좋다. 공정수가 늘어나면 금형 제작비용이 상승하고, 생산성이 저하되며, 작업자의 피로도가 심하게 되고, 단조 작업 중 소재의 온도 저하로 결육 및 두께 초과 등의 문제점을 나타내기도 하기 때문이다.

2공정품

단순한 형상의 단조품으로 단면 변화가 적고 소재 배분이 필요하지 않은 경우로 햄머에서 기어 블랭크(Gear Blank)의 작업 시는 대개 2공정으로 이루어진다.

3공정품

대개의 경우 단조는 3공정으로 이루어진다. 업셋팅, 브로카, 황성형 브로카, 벤딩 피니샤 등의 공정을 적절히 선택하여 작업하게 된다.

각 공정의 목적

제1공정

- 가열된 소재의 스케일 제거 (Descaling)
- 경사진 절단면의 평면도 확보
- 다음 공정에서의 소재 위치 선정 용이
- 재료의 체적 배분
- 금형 수명 연장
- 각종 결함 방지

제2공정

- 중간 성형으로 피니샤에서의 결함 방지
- 치수 정밀도 향상
- 금형 수명 연장

제3공정(피니샤)

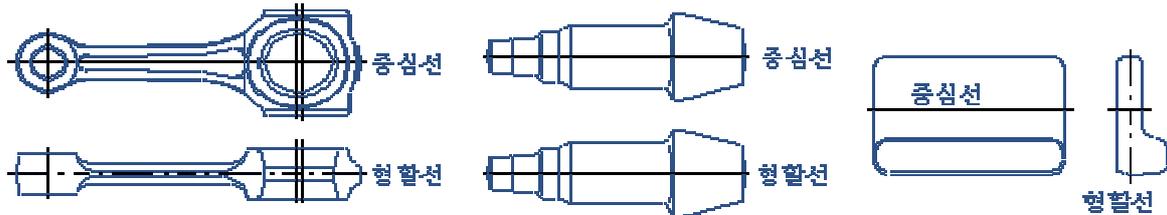
- 제품의 품질 확보

8.6. 단조품의 분류

금형의 설계 및 금형 구조의 결정을 위해서는 단조품의 형상에 의하여 분류할 필요가 있으며, 이때 형할선의 형상, 단조품의 평면도상에서 중심선의 형상, 단조품 형상 및 평면도 상에서 주요 치수 관계 등을 고려하여 다음과 같이 분류한다.

8.6.1. 제1류 : 직선상의 긴 주축을 가진 단조품

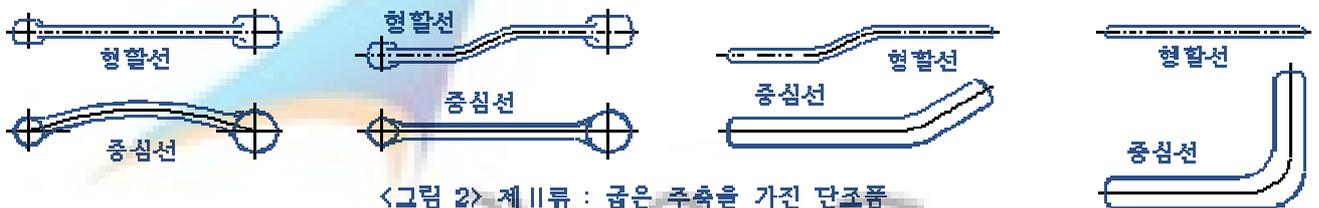
<그림 1>과 같이 단조품의 중심선이 직선이고, 형할선이 중심선과 동일한 방향으로 긴 선의 형태를 갖는 것으로 연결봉(Connecting Rod), 캠축, 메인 샤프트 등이 이에 속한다.



<그림 1> 제 I류 : 긴 주축을 가진 단조품

8.6.2. 제2류 : 굽은 주축을 가진 단조품

<그림 2>와 같이 중심선이나 형할선 또는 중심선 및 형할선이 굽은 형상의 주축을 가진 단조품을 제II류로 분류한다.



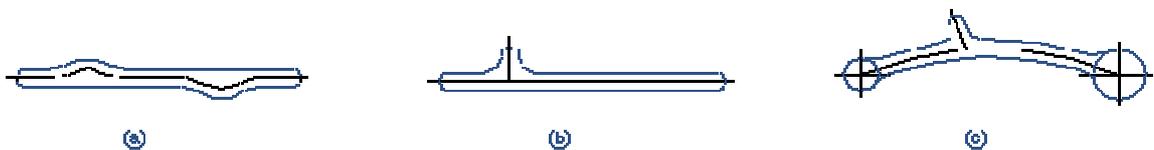
<그림 2> 제 II류 : 굽은 주축을 가진 단조품

8.6.3. 제3류 : 보스 또는 돌기가 있는 단조품

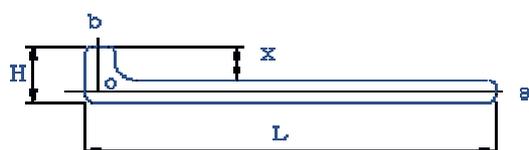
국부적으로 예리하게 굽지 않은 직선이 있는 굽은 형상 (<그림 3 ㉑>) 또는 예리하게 굽은 형상 (<그림 3 ㉒>)을 가진 단조품을 제III류로 분류한다.

<그림 4>와 같이 x 가 짧은 경우에는 긴 주축을 가진 보스 또는 돌기가 있는 단조품으로 분류하며, 보스 또는 돌기의 길이(x)에 따라 중심선이 a-o-b인 굽은 주축을 가진 단조품으로 분류할 수도 있다.

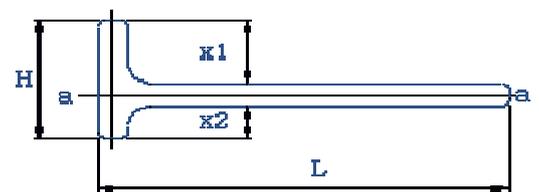
그리고 <그림 5>의 형상에서 $x_1=x_2$ 인 경우에는 중심선이 a-a인 제 I류 단조품으로 분류한다. 여기서 x_1 이 x_2 보다 약간 클 경우에는 중심선이 약간 굽은 제III류로 분류하고, x_1 과 x_2 의 차이가 큰 경우에는 중심선이 x_1 쪽으로 기울게 되어 굽은 주축을 갖는 단조품으로 분류한다.



<그림 3> 제 III류 : 보스 또는 돌기가 있는 단조품



<그림 4>



<그림 5>

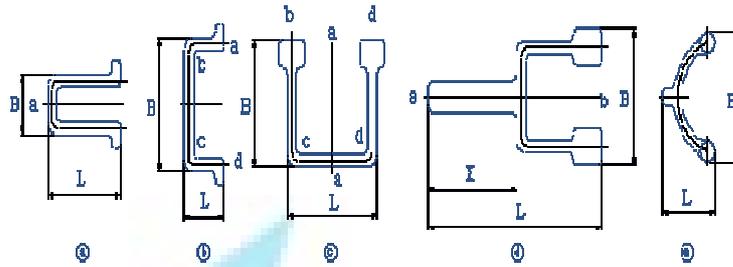
8.6.4. 쌍 가지부를 가진 단조품

<그림 6>은 여러 가지 쌍 가지부를 가진 단조품의 종류를 나타낸다. <그림 6 ㉔>는 a-b로 표시되는 긴 주축을 가진 단조품으로 제 I류로 분류할 수 있다. <그림 6 ㉕>는 a-b-c-d로 표시되는 굵은 주축을 가진 단조품으로 제II류로 분류할 수 있다.

<그림 6 ㉖>에서 $L > B$ 의 경우에는 a-b로 표시되는 긴 주축을 가진 단조품으로 제 I류로 분류할 수 있으며, $L < B$ 의 경우에는 b-c-d-e로 표시되는 굵은 주축 및 보스 또는 돌기를 가진 단조품으로 제III로 분류할 수 있다.

<그림 6 ㉔>는 x로 표시된 긴 주축과 쌍가지를 가진 단조품이다.

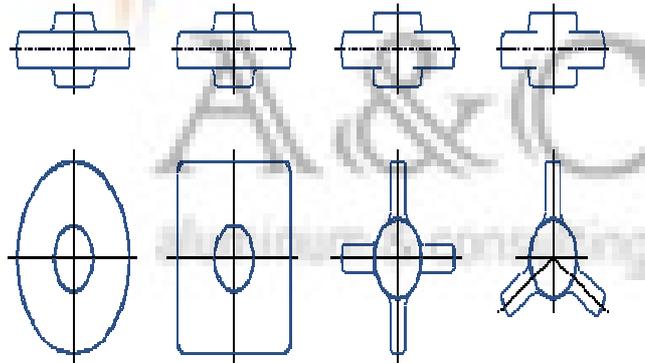
<그림 6 ㉕>는 굵은 주축 및 보스 또는 돌기가 있는 단조품으로 제III류로 분류할 수 있다.



<그림 6> 제IV류 쌍 가지부가 있는 단조품

8.6.5. 제4류 : 평면도 상에서 원형, 정방형 및 이와 유사한 형상의 단조품

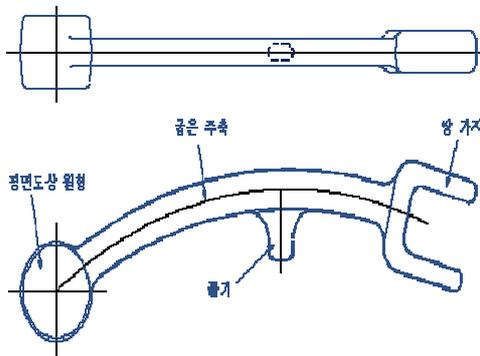
평면도에 있어서 각 수직 방향의 치수가 대체로 같은 형상의 단조품 및 이와 유사한 형상의 단조품을 제IV류로 분류하며, 기어블랭크(Gear Blank), 저어널크로스(Journal Cross) 등이 이에 속한다.



<그림 7> 제IV류 : 평면도 상에서 원형, 정방형 및 이와 유사한 형상의 단조품

8.6.6. 제5류 : 복합 형상의 단조품

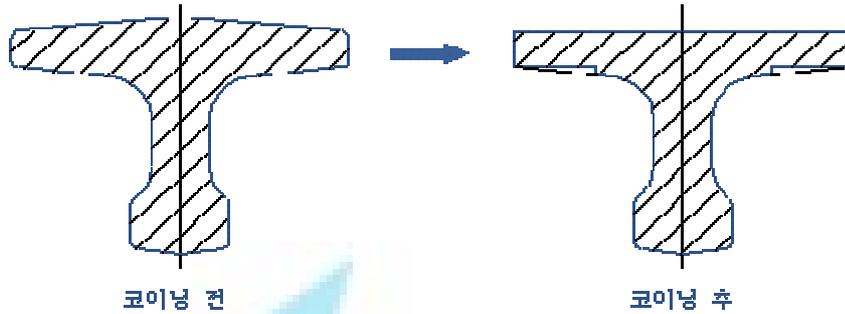
제 I 류에서 제 V 류의 각종 형상이 복합적으로 이루어진 단조품을 제VI류로 분류한다.



<그림 8> 제VI류 : 복합 형상의 단조품

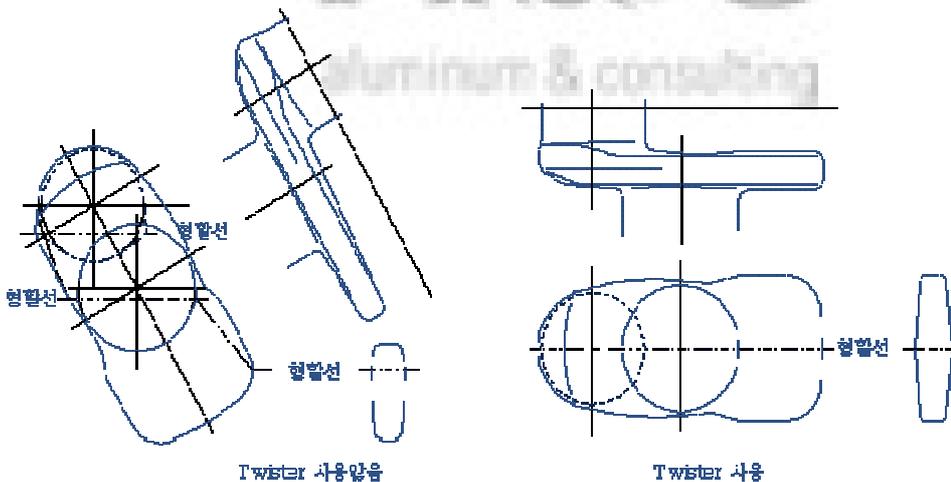
피니셔(finisher) 형상의 설계

일반적으로 피니셔 형상은 단조품 형상과 동일하다. 그러나 형상을 변형 시켜 피니셔 형상을 제작하고 트리밍 후 소정의 단조품 형상으로 성형하는 경우가 있다. 먼저 가공 여유를 감소시키기 위하여 성형 공정을 추가하는 경우로 Front Axle I-Beam의 경우가 대표적인 경우다. Front Axle의 spring seat부는 단조품에서 두께 치수에 해당되는 부분의 치수가 크기 때문에 발구배에 의한 덧살이 많아서 가공 부하를 많이 받게 된다. 따라서 이 부분은 트리밍 후 열간 코이닝에 의하여 발구배를 없애는 작업을 하게 된다. 그러나 불행하게도 우리 나라에서는 아직도 Front Axle의 spring seat부를 코이닝 할 수 있는 장비를 갖춘 업체가 없어서 모두 기계 가공에 의존하고 있는 실정이다.



<그림 1> Front Axle의 Spring Seat부 코이닝

그리고 또 한가지는 3기통, 6기통, V-type의 Crank Shaft와 같이 형상이 복잡하여 단조 작업이 어렵고, 회수율이 낮으며, 또한 금형 수명이 현저히 낮은 제품의 경우에는 Crank Pin을 일렬로 배열하여 단조 후 이들을 알맞은 각도로 비틀어서(Twisting) 소정의 형상을 만드는 경우이다. 이 경우 형할선을 Counter Weight의 중앙에 설치할 수 있으므로 금형 가공이 용이하고, 단조 작업이 쉬우며, 금형의 수명을 향상시키며 가공량을 줄일 수 있다는 잇점이 있다.



<그림 2> Twister를 이용한 Finisher 금형의 합리화

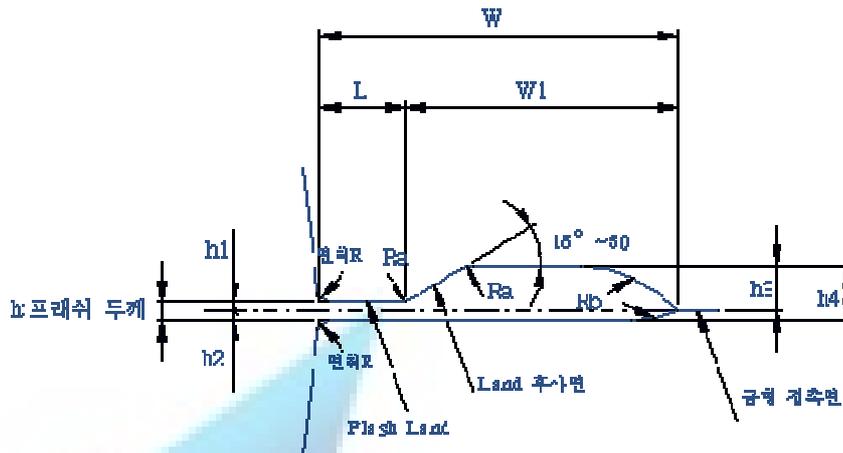
그리고 단조 후 휨 공정(Bending)을 추가하는 경우, 측면에 홈을 제작하는 공정을 추가하는 경우 등이 있다. 그러나 이들의 경우 단조품의 형상이 변형 될 수도 있으므로 설계자는 이를 감안하여 피니셔 형을 제작해야 한다.

8.7. 플래시 (Flash)의 설계

형 단조에서 재료의 체적은 단조품의 체적보다는 크게 한다. 따라서 단조 작업 시 여분의 체적은 플래시로 나오게 된다. 이때 상형과 하형 사이의 형할선(型割線)으로 밀려나오는 여분의 금속을 플래시라고 하며, 단조 후 트리밍(Trimming)에 의하여 절단된다. 플래시는 형조부로 재료(금속)의 흐름을 도우며, 타격 시 상하형의 충격을 완화시켜주는 역할을 한다.

8.7.1. 형단조에 있어서 플래시 형상의 역할과 중요성

8.7.1.1. 플래시 각부의 명칭



<그림 1>

8.7.1.2. 각 부위의 역할과 중요성

(1) 플래시 랜드 (Flash Land)

이 부분은 플래시에서 가장 중요한 부분으로 <그림 1>의 'L'치수 구간으로서 상,하형 모두를 포함하는 개념이며, 일반적으로 이 부분의 두께를 플래시 두께라고 한다. 면취 R과 더불어 살 흐름에 대한 저항에 관계되는 부분으로 폭이 크고 높이가 작을수록 금속의 유동 저항이 커지게 된다. 플래시 랜드에서 저항이 크면 Impression내의 살참에 도움이 된다. 그러나 플래시 두께가 너무 얇아서 금속의 유동 저항이 너무 커지게 되며, 이 부분에서 재료는 급속하게 냉각하게 되어 Impression내의 여분의 재료는 더 이상 밖으로 빠져 나오지 못하게 된다. 따라서 플래시 두께가 커지게 되며 Impression내에는 살(재료)이 모자라는 결육 부분이 발생하고, 단조품의 두께가 두꺼워지게 된다. 반대로 플래시 두께가 너무 두꺼운 경우에는 금속의 유동 저항이 너무 작게 되고 따라서 재료가 Impression을 모두 채우지 못하고 플래시부로 유출되게 된다. 따라서 단조품에는 결육이 발생하고 두께가 얇게 된다. 따라서 플래시 두께는 단조품의 품질과 생산성에 아주 큰 영향을 주게 되므로 아주 신중하게 설계되어야 한다.

(2) 플래시 거터 (Flash Gutter)

플래시 거터는 랜드부를 빠져나온 소재를 흡수하여 더 이상 플래시에 의한 저항이 발생하지 않도록 하는 역할을 함으로써 설계상의 플래시 두께를 확보하게 하여 정상적인 단조품이 생산될 수 있도록 한다. 거터부의 크기는 계산상의 플래시 양보다 전체 플래시구(溝)의 체적이 20~40%정도 크게 설계하면 된다. 거터부의 두께가 너무 작게되면 랜더부를 빠져 나온 플래시에 간섭을 주게 되어 저항을 크게 한다. 또한 플래시구의 두께가 너무 두껍게 하면 금형의 가공 량이 많아지고, 금형 강도가 약해지게 되므로 거터부의 폭 및 두께는 적절히 설계되어야 한다.

(3) 면취 반경 (R)

플래시의 면취 R은 Impression과 플래시 랜드부가 만나는 부분의 모서리 반경으로서 단조 작업 시 Impression측으로부터 압력을 받아 유출되는 재료의 흐름에 대한 저항에 영향을 주며, 면취 R이 작을수록 저항이 크게되어 결육 방지에 유리하며, 트리밍시 전단량이 적게되므로 단조품의 면형을 방지하는 데도 유리하게 작용한다. 그러나 면취 R이 너무 작으면 형무너짐이 발생하게되고 플래시부가 Impression쪽으로 무너지면서 금형에 역발구배(逆拔勾配)가 발생하게되어 제품에 결함을 발생시키게 되며 심할 경우에는 이형(離型)이 불가능하게 되는 경우가 발생하므로 주의해야 한다. 따라서 적당한 면취 R을 결정하는 것은 중요하며, 기본적으로 플래시 두께에 따라 결정되며, 설계 목적에 따라 보정해 준다.

(4) 랜더 후사면

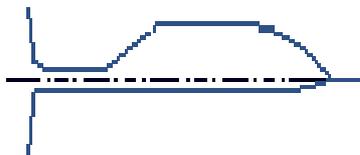
플래시 랜드에서 거트로 이어지는 경사면을 랜더 후사면이라고 한다. 랜드부를 빠져 나온 플래시는 관성에 의하여 직진하려는 성향이 있으므로 플래시가 거트의 끝 부분에 다다를 때까지 플래시 두께가 두꺼워 지지 않는 경우가 있으며, 이렇게 되면 플래시는 거트부를 채우지 못하고 금형의 접촉면 사이로 유입되게된다. 따라서 랜드를 지난 플래시가 쉽게 두꺼워질 수 있도록 랜드의 후사면을 완만하게 하여 자연스럽게 플래시가 두꺼워질 수 있도록 유도해 주는 것이 좋다. 일반적으로 후사면은 15°~30° 정도의 각도를 가지면 적당하다. 이 각도가 작을수록 거트부의 폭을 크게 해 주어야 한다. 그러나 이 부분의 각도가 너무 크게되면 랜드부의 금형 강도가 약해지므로 주의해야 한다. 최근에는 이 부분의 금형 가공을 쉽게 하기 위하여 하나의 R형상으로 대체하여 사용하기도 한다.

8.7.2. 플래시의 종류와 특성

플래시는 단조의 목적에 따라 그 형상과 크기가 여러 가지 있다. 여기서는 이들의 종류와 그 특성에 대하여 알아보기로 한다.

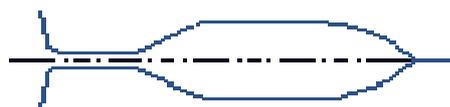
8.7.2.1. 일반형

금형의 상형 측에만 플래시 거트를 가공하고 하형으로는 랜드부와 같은 깊이로 가공하는 형상으로 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 형상이다. 이 형상은 금형 가공이 비교적 쉬우므로 간단한 형상이거나 소형의 단조품에 널리 사용된다. 이 형상은 플래시 거트부의 깊이가 작으므로 폭을 크게 해야 하므로 금형 접촉면이 적어질 수 있으므로 주의 해서 설계해야 한다. 따라서 금형 접촉면적이 충분한 경우나 거트부의 깊이를 깊게 해도 문제가 되지 않는 경우 또는 프레스용 단조에 적용하는 것이 좋다.



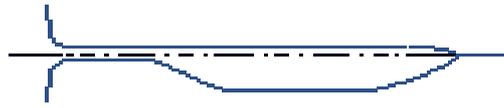
8.7.2.2. 상,하 거트형

상,하형 모두에 거트를 가공하는 형상으로 플래시 양이 많아서 일반형의 플래시구(溝)로서는 플래시양을 감당할 수 없는 경우에 적용한다. 일반적으로 상하형의 거트부 깊이는 같게 하며, 일반형의 1.5~2배 정도의 깊이면 적당하다. 거트의 깊이가 깊으므로 폭을 줄일 수 있게되어 금형 접촉면을 많이 확보할 수 있는 장점이 있으나 금형 가공 시간이 많이 걸린다는 단점도 있다. 플래시양이 많은 곳이나 금형의 Lay-out상 거트부의 폭을 확보할 수 없는 곳에 국부적으로 적용하기도 한다.



8.7.2.3. 특수형

특수 형상의 플래시는 특수한 목적으로 부분적으로 사용되는 것이 일반적이다.



상도와 같은 형상의 플래시는 하형에만 Impression이 있을 경우에 적용한다.



상도와 같은 형상의 플래시는 부분적으로 살참이 어려운 부분에 적용한다. 많은 부위에 이런 형상의 플래시를 적용할 때에는 이 부분에서 금속의 유동 저항이 급격히 증가한다는 것에 유의해야 한다.

8.7.3. 플래시의 치수 결정

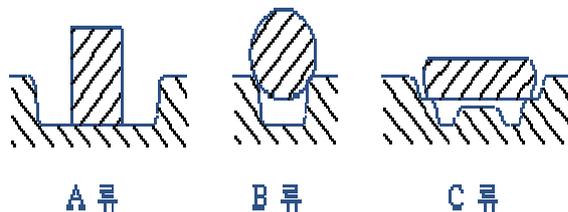
8.7.3.1. 일반적인 경우

플래시의 각 부분 치수는 플래시 두께에 의하여 결정하게되며, 플래시 두께는 단조품의 투영면적에 따라 다음 식에 의하여 산출된다. 특히 투영면적을 산출할 때 Crank Shaft, Yoke, Knuckle 등과 같이 요철이 심하고 외곽 형상이 복잡한 경우에는 오목 부는 직선으로 연결하여 단순화시킨 다음 내측 부는 투영면적에 포함하여 계산한다.

플래시 두께의 계산식

$$k = k_1 + k_2 = 0.015 + 0.018 \sqrt{F_s}$$

No.	h	h3	면취 R	A 류			B 류			C 류		
				L	W1	단면적	L	W1	단면적	L	W1	단면적
1	0.6	3	1	6	18	52	6	20	61	8	22	74
2	0.8	3	1	6	20	69	7	22	77	9	25	88
3	1	3	1	7	22	80	8	22	91	10	28	104
4	1.6	3.5	1	8	22	102	9	25	113	11	30	155
5	2	4	1.5	9	25	132	10	28	153	12	32	177
6	3	5	1.5	10	28	201	12	32	233	14	38	278
7	4	6	2	11	30	268	14	38	344	16	42	385
8	5	7	2	12	32	343	15	40	434	18	46	506
9	6	8	2.5	13	35	435	16	42	530	20	50	642
10	8	10	3	14	38	601	18	46	745	22	55	903
11	10	12	3	15	40	768	20	50	988	25	60	1208



8.8. 황지 형상의 설계

단조품의 피니시 형상이 결정되면 다음은 황지 형상을 결정해야 한다. 황지 형상을 결정하기 위해서는 ① 피니시 형상의 체적 분포, ② Flash의 체적 분포, ③ 피니시의 체적과 Flash의 체적을 합한 형상의 체적 분포 등을 결정해야 한다. 이를 위해서는 단면선도(斷面線圖)를 작성하게 된다.

8.8.1. 단면선도 및 이론 황지도의 작성

단면 선도란 단조품 및 Flash의 단면 변화를 나타낸 선도를 말하며, 단조 공정의 설정, 소재 치수의 결정 등에 사용된다. 그리고 이론 황지도는 플래시를 포함한 단면선도 상의 각 단면에 해당하는 직경을 가진 황지의 형상을 말한다.

단면 선도는 먼저 피니시의 단면적을 계산하여 여기에 플래시의 단면적을 더해 준다. 이때 플래시의 단면적은 플래시구(溝) 단면적의 70%로 계산한다. 단면 선도는 X축을 각 단면간의 거리, Y축을 각 단면의 단면적으로 하는 기하학적 도형이 된다. X축의 축척은 1/1(프론트 액슬 류 등과 같이 길이가 긴 경우에는 1/2, 1/3 등이 축척을 사용하기도 함), Y축의 축척은 일정한 척도(S)를 갖게 되고, 제품의 형상, 크기 등에 따라 달리 적용하며, 일반적으로 단면선도상 Y축의 크기가 피니시형의 크기와 비슷한 수준으로 하면 편리하다. X축의 눈금(각 단면간의 거리)이 좁을수록 정확한 단면 선도를 작성할 수 있으나 너무 좁게 하면 단면선도 작성에 너무 많은 시간이 소요되어 비경제적이므로 제품의 형상, 크기 등을 고려하여 적당한 간격을 선택해야 한다. 또한 형상의 변화가 많은 부분은 각 단면의 거리를 좁게 하고, 단면의 변화가 비교적 완만한 경우에는 각 단면간의 거리를 넓게 하는 등 동일 단면 선도에서도 형상에 따라 간격을 달리할 필요가 있다. 그리고 단면선도 상의 Y축의 높이는 단면적을 척도(S)로 나눈 값이 되며 다음 식으로 표시된다.

$hr = F/S$ (hr : Y축의 높이, F : 단면적, S : 척도)

단면 선도의 면적은 체적을 나타내게 된다. 따라서 단조품에 대한 단면 선도의 면적은 단조품의 체적이 되고, 단조품에 플래시의 체적을 더한 단면선도의 면적은 이론적인 소재의 체적이 된다. 이론 황지의 단면적은 제품의 단면적과 플래시 단면적의 합으로 계산되며, 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$Fr = Fs + 0.7 \times 2Fg = Fs + 1.4Fg$ (Fr : 이론 황지의 단면적, Fs : 단조품의 단면적, Fg : 플래시의 단면적)

그리고 이론 황지의 단면 치수는 이론 황지의 단면적을 갖는 진원의 지름으로 한다.

$$dr = \frac{4}{\pi} \sqrt{Fr} = 1.13 \sqrt{Fr}$$

dr : 이론 황지의 지름

단면 선도에 의한 체적 계산식은 다음과 같다.

$$Vs = Fs \cdot S$$

$$Vr = Fr \cdot S \quad (Vs : \text{단조품의 체적 } Vr : \text{이론 황지의 체적 } S : \text{척도})$$

이론 황지의 평균 단면적 및 평균 직경은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$Fm = Fr / Ls$$

$$dm = \frac{4}{\pi} \sqrt{Fm}$$

8.7.3.2. 특수 목적에 따른 형상 및 치수의 보정

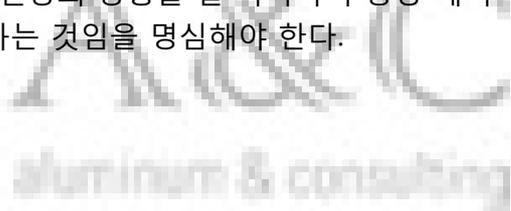
상기 3-1항에서 계산된 치수는 일반적인 단순한 햄머용 금형에 적용할 수 있으며 실무에 있어서는 여러 가지 특수한 상황이 발생하므로 이에 대하여 각각의 상황에 맞도록 보정해 주어야 한다.

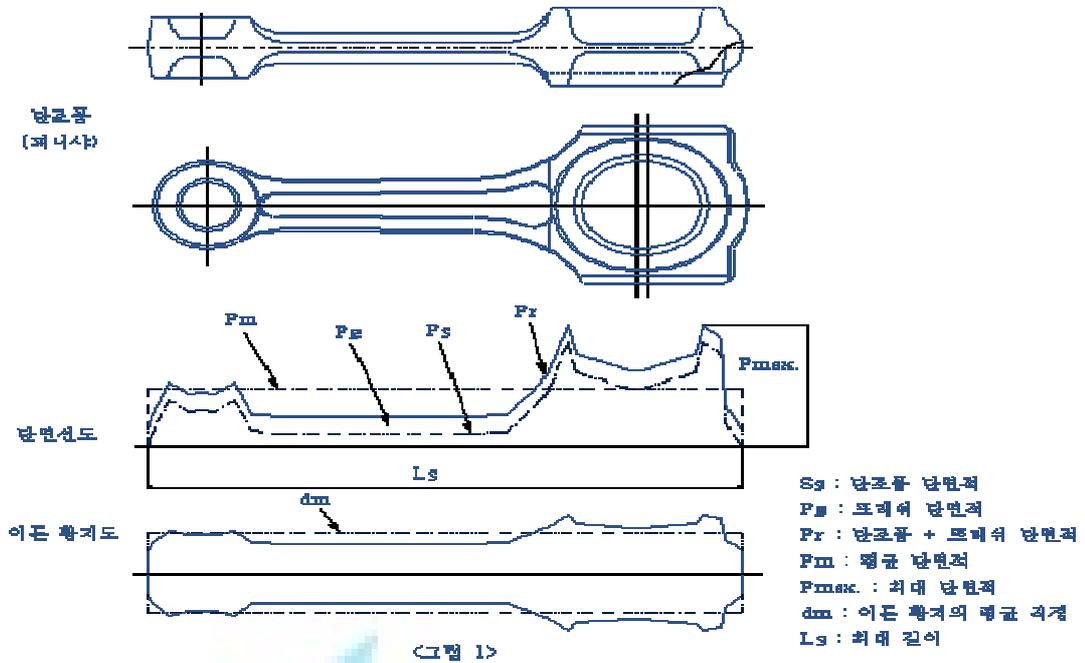
(1) 프레스 및 업셋터 금형에서의 플래시

단조 프레스 및 업셋터의 경우 기계의 각부분은 이상적인 강체가 아니므로 상하 금형의 셋팅(Setting) 치수보다 벌어지는 현상(Deflection, 신율, 호흡량 등으로 불림) 이 발생하게되며 그 정도는 각 기계의 강성 및 노후 정도, 단조시 실제 부하 등에 따라 달라지게 된다. 따라서 이 양을 보정해 주기 위해서는 플래시의 두께를 계산치 보다 크게 해야할 필요가 있다. 그 보정해 주는 양은 각 기계에 따라 다르므로 현장에서 항상 체크하고 자료를 모아서 보완해 나가야 한다. 또한 금형 셋팅시 플래시 랜드부가 접촉하는 것을 피하기 위하여 금형 접촉면을 플래시 랜드와 같게 하거나 낮게 해줄 필요가 있다.프레스 및 업셋터의 경우 금형 접촉면이 필요하지 않으므로 가공의 편의를 위하여 셋팅을 위한 부분을 제외하고는 모든 부분에 플래시 거터를 확보하기도 한다.

(2) 형상에 따른 보정

국부적으로 과잉의 플래시가 예상되는 부분은 이 부분에 대하여 플래시 거터를 좀더 깊게 만들거나 거터의 폭을 크게 하고, 필요시 상하 거트형으로 한다.국부적으로 결육이 우려되는 부분은 플래시 두께를 얇게 하거나 면취 R을 줄여서 살참에 유리하도록 하며, 때로는 부분적으로 플래시의 유동 저항을 높이기 위하여 랜드부에 플래시 막이(Stopper)를 설치 하기도 한다. 이때 플래시 막이로 인하여 금속이 역류하여 형할선(Parting Line)선상에 결함이 발생하는 현상이 발생할 수도 있으므로 주의해야 한다. 트리밍시 변형이 예상되는 부분은 플래시 두께 및 면취 R을 줄여서 트리밍시 전단면을 작게하여 변형을 최소화 해야 한다. 이때 플래시 두께 및 면취 R는 다른 부분의 50% 이내에서 줄여주는 것이 좋다.플래시 설계에서 가장 중요한 사항은 플래시 설계에 있어서 절대적인 법칙은 없으며 각각의 제품 특성을 잘 파악하고, 각 기계의 상태와 실제 현장의 상황을 잘 파악하여 항상 데이터화하여 각각의 설비에 가장 알맞은 설계 방법을 찾아서 적용하는 것임을 명심해야 한다.





이론 황지에서 평균 직경보다 큰 부분을 두부(頭部), 평균 직경보다 작은 부분을 축부(軸部)라고 한다. 축부의 원추도는 다음 식으로 계산한다.

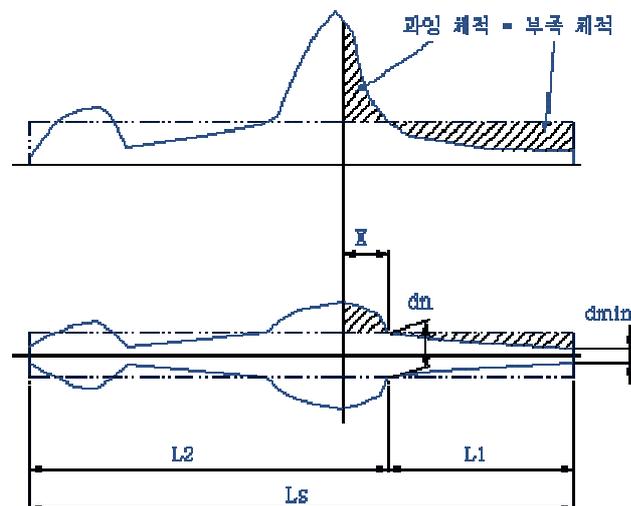
$$K = \frac{dn - d_{min}}{dn}$$

이론 황지는 한 개의 두부에 한 개의 축 부를 가진 것을 '단순 이론 황지'라 하고 이에 대한 단면 선도를 '단순 단면 선도'라 한다. 그리고 두개 이상의 두부 또는 축부를 가진 것을 '합성 이론 황지'라 하고 이에 대한 단면 선도를 '합성 단면선도'라 한다.

8.8.2. 합성 이론 황지 및 합성 단면 선도의 작성

① 하나의 두부 양측에 축 부가 있는 경우

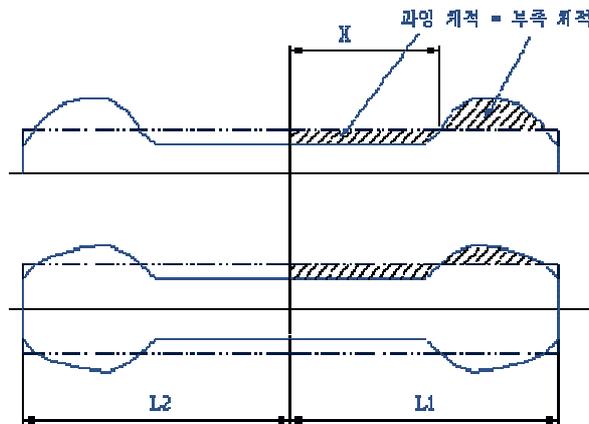
각 축 부의 과잉 체적에 해당하는 두부의 부족 체적을 계산하여 거리 X를 구한다. 이에 따라 L1, L2를 결정하여 2개의 단순 이론 단면 선도로 나눈다. <그림 2> 참조



<그림 2>

② 하나의 축부 양측에 두개의 두부가 있는 경우

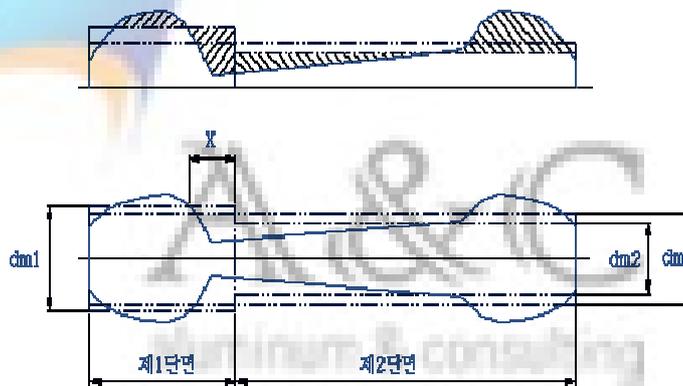
㉠ 원추도 $K \leq 0.1$ 인 경우 단면 선도에서 축부의 부족 체적과 두부의 과잉 체적이 같아지는 거리 X 를 계산한다. <그림 3> 참조



<그림 3>

원추도 $K \geq 0.1$ 인 경우

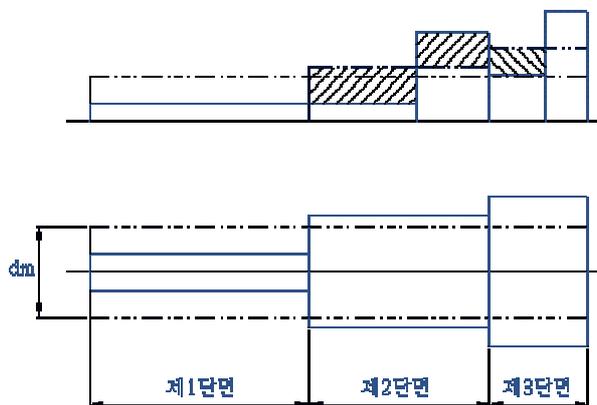
최소 단면적이 있는 쪽이 두부에 살을 채우기 위하여 일정 거리(X)에서의 과잉 체적과 두부의 부족 체적을 같게 하는 지점을 잡아서 이 점을 분할선으로 하여 양측으로 2개의 단순 단면 선도를 작성한다. <그림 4> 참조



<그림 4>

③ 2개의 두부를 갖는 축형 단조품

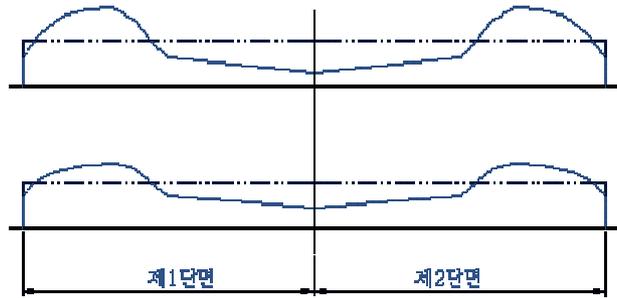
두부의 부족 체적이 축부의 과잉 체적보다 큰 경우에는 두 번째 두부의 시작점을 분기점으로 한다. 두 번째 두부는 부족 체적에 상당하는 체적을 축부에서 보충하여 평균화한다. 이렇게 하여 3개의 단순 단면 선도를 얻는다. <그림 5> 참조



<그림 5>

④ $K > 0.1$ 인 축부가 마주보고 있는 경우

원추의 시작점을 분기점으로 하여 각각의 단면 선도를 작성한다. <그림 6> 참조



<그림 6>

⑤ 3개 이상의 축부가 있는 경우

이때도 두부의 부족 체적과 축부의 과잉 체적에 따라 배분하며, 그 방법은 상기 ①~④를 참조한다.



9. 열처리(熱處理, heat treatment)

금속제품의 기계적성질, 금속학적 구조 및 잔류응력 상태등을 변화시킬 목적으로 수행되는 가열 또는 냉각 조작을 의미한다. 알루미늄 및 알루미늄합금은 순수 알루미늄 및 Al-Mn(2000), Al-Mg(5000), Al-Si(4000)계 합금은 고용강화형합금이며, 열처리에 의한 시효경화 효과를 나타내지 않는다. 비열처리형 합금은 고용강화 또는 결정립 미세화와 제2상의 분산에 의해 강도를 얻는다. 용체화처리 및 시효열처리에 의해 경화된 시효경화형합금계는 Al-Cu(2000), Al-Mg-Si(A12:A13), Al-Zn-Mg(7000)등으로 고강도 합금이다.

9.1. 알루미늄(Aluminium)합금의 질별기호

9.1.1. 기본기호

기 호	의미 와 뜻
F (As Fabricated)	주조 또는 제조상태 규격이 없다. 열처리 및 가공경화 처리를 하지 않는 것으로 기계적성질의 규격이 없다.
O (Annealed)	가장 연한 상태로 하기 위해 풀림 처리 한 것. 연성을 증가 시키고, 치수안정화를 위해서 한다.
H (Strain-Hardened)	열처리 여부에 상관없이 가공경화에 의해 강도를 증가시킴. 경화율에 따라 H1 ~H로 분류한다.
AQ (As Quenched)	용체화처리후 자연시효가 진행되지 않은 상태 즉, Quenching→Cold Storage (냉장고에 보관)
W (Solution Heat Treated)	용체화처리후 자연시효가 진행되고 있는 상태 오른쪽의 계수로 자연시효 진행시간 표시 예)W1/2 : 자연시효가 1/2시간 진행된 상태
T (Therm ally theated to produce stable tempers other than F,O or H)	가공경화 여부에 상관없이 안정된 Temper를 만들기 위해서 열처리한 제품에 적용한다. 처리공정에 따라서 수많은 Temper가 있다.

9.1.2. HX의 세분기호

H1	가공경화만 한 것. (Strain Hardened) 소장의 기계성질을 얻기 위하여 추가 열처리를 하지않고 가공경화만 한것.
H2	가공경화 후에 적당하게 연화 열처리를 한 것.(Partial Anneailng) 소정의값 이상으로 가공경화한 다음 적당한 열처리에 의해서 소정의 강도까지 저하 시킨것. 상온에서 시효연화하는 합금에 있어서 그 질별은 H3질별과 거의 같은 강도를 갖는다. 그 외에 합금에 대해서는 그 질별은 H1질별과 거의 동등한 질별을 가지지만 연신율은 다소 높은값을 보인다.
H3	가공경화 후 안정화 처리한 것. 가공경화한 제품을 저온가열에 의해서 안정화처리 한 것이다. 그결과 강도는 다소 저하하고, 연신율은 증가하게 된다. 이 안정화처리는 상온에서 서서히 시효연화 하는 마그네슘을 함유하는 합금에만 적용된다.

9.1.3.HXY의 세분기호

기호	의미 와 뜻
HX1	인장강도가 Ann. (O)의 질별과 HX2의 중간의 것. ▶1/8경질(9.4%)
HX2	인장강도가 Ann. (O)의 질별과 HX4의 중간의 것. ▶1/4경질(18.8%)
HX3	인장강도가 HX2와 HX4의 중간인 것.▶3/8경질(28.1%)
HX4	인장강도가 Ann.(O)의 질별과 HX8의 중간의 것.▶1/2경질(37.5%)
HX5	인장강도가 HX4와 HX6의 중간인 것.▶5/8경질(46.9%)
HX6	인장강도가 HX4와 HX8의 중간인 것.▶3/4경질(56.25%)
HX7	인장강도가 HX6와 HX8의 중간인 것.▶7/8경질(65.5%)
HX8	단면감소율이 약75%냉간가공 했을때 얻어지는 인장강도▶1경질
HX9	단면감소율이 약75%이상 냉간가공 했을때 얻어지는 인장강도▶특경질
H111	최종Ann. 후 충분히 가공경화한 것으로 H11보다 가공경화량적은 제품이 요구될때 적용.고력제품에만 적용
H112	고온가공(압출)으로 약간의 Temper를 얻으나 기계적성질에 한계가 있다.고력제품에만 적용
H311	H31보다 가공경화량이 적은 제품에 적용.Mg을4%이상 함유된 고력에 적용
H321	H32보다 가공경화량이 적은 제품에 적용.Mg을4%이상 함유된 고력에 적용
H323/H343	응력부식 균열의 저항성에 적합하도록 특별히 제조할때 처리.Mg을4%이상 함유된 고력에 적용

9.1.4.TX의 세분기호

기호	의미 와 뜻
T1	압출재와 같이 고온의 제조 공정에서 냉각한후 적극적인 냉간가공을 하지않고서 충분히 안정된 상태까지 자연시효 시킨것. 따라서 교정하여도 냉간가공의 효과가 작은 것.
T2	압출재와 같이 고온의 제조 공정에서 냉각한후 강도를 증가시키기위하여 냉간가공을 하고, 다시 충분히 안정한 상태까지 자연시효 시킨것.
T3	용체화 처리후 강도를 증가시키기 위하여 냉간가공 하고, 다시 충분한 안정 상태까지 자연시효 시킨것.
T4	용체화처리후 적극적인 냉간가공을 하지않고 충분한 안정 상태까지 자연시효 시킨 것. 따라서 교정하여도 그 냉간가공의 효과가 작은것.
T5	주물 또는 압출재와 같이 고온의 제조공정에서 냉각한 다음 적극적인 냉간가공을 하지않고 인공시효 경화처리 한것. 따라서 교정하여도 그 냉간가공의 효과가 작은것.
T6	용체화처리한후 적극적인 냉간가공을 하지않고 인공시효 경화처리한것.따라서 교정하여도 그 냉간가공의 효과가 작은것.
T7	용체화처리후 특별한 성질을 조정하기 위하여 최대강도를 얻는 인공시효 경화처리 조건을 넘어서 과시효 처리한것.
T8	용체화처리후 강도를 증가시키기 위하여 냉간가공 하고, 다시 인공시효 경화처리 한것.
T9	용체화처리후 인공시효 경화처리를 하고, 강도를 높이기 위하여 다시 냉간가공 한 것.

9.1.4.HXY의 세분기호

기호	의미 와 뜻
T10	고온가공에서 냉각한 다음 냉간가공 하고, 다시 인공시효 경화처리.압출재와 같이 고온의 제조공정에서 냉각한 다음 강도를 증가시키기 위하여 냉간가공 하고 , 다시 인공시효 경화처리 한것.
T21	T2처리중 연신율 및 치수가 가장 안정된 상태로 소둔(ANN.)처리 한것.
T31	용체화처리와 소입한후 1~2% 단면 수축율의 냉간가공에 의해 가공경화 시킨것.
TX51	용체화처리후 Stretching하여 잔류응력 제거.Plate : 1.5~3%,Cold-Finished Rod and Bar : 1~3
TX510	TX51 처리후 straightening 하지 않는것.Extruded Rod, Bar, Shapes and Tube : 1~3%,Drawn Tube : 0.5~3%
TX511	TX51 처리후 Tolerance를 맞추기 위하여 최소로 straightening을 한것.Extruded Rod, Bar, Shapes and Tube : 1~3%,Drawn Tube : 0.5~3%
TX52	Stress relieved by Compressing.용체화처리후 소입한후 잔류응력을 제거하기 위하여 1~5% 압축가공을 한것.
TX53	열처리에 의하여 잔류응력을 제거한것.
T351	용체화처리 → S/T → 냉간가공 → 자연시효
T3510	용체화처리 → S/T → 냉간가공 → 자연시효
T3511	용체화처리 → S/T → 냉간가공 → Straightening → 자연시효
T36	용체화처리 → 냉간가공(6%) → 자연시효
T37	용체화처리 → 냉간가공(7%) → 자연시효
T41	용체화처리(온수Quenching) → 자연시효
T42	사용자가 용체화처리후 충분히 안정적인 상태까지 자연시효 시킨것.
T451	용체화처리 → S/T → 자연시효
T4511	용체화처리 → S/T → Straightening → 자연시효
T61	◎ 전신재 : T41 → 인공시효,◎ 주물재 : 용체화처리 → 고온 인공시효
T62	T42 → 인공시효
T63	용접재의 T4제품을 인공시효 한것.
T651	용체화처리 → S/T → 인공시효
T6510	용체화처리 → S/T → 인공시효
T6511	용체화처리 → S/T → Straightening → 자연시효
T73	용체화처리후 과시효처리 한것. (2 Step Aging)
T7351	용체화처리 → S/T → 과시효(2 Step Aging)
T7351	용체화처리 → S/T → 과시효(2 Step Aging)
T73511	용체화처리 → S/T → Straightening → 과시효(2 Step Aging)
T74	용체화처리후 과시효처리 한것. (2 Step Aging)
T81	T3, T31 → 인공시효 (T8의 단면감소율을 약 1%로 한것)
T83	T8의 단면감소율을 약 3%로 한것
T86	T36 → 인공시효 (T8의 단면감소율을 약6%로 한것)
T851	용체화처리 → S/T → 냉간가공 → 인공시효
T8510	용체화처리 → S/T → 냉간가공 → 인공시효
T8511	용체화처리 → S/T → 냉간가공 → Straightening → 인공시효

9.2.제품 형상 표시기호

- BE** (Extruded Bar)-압출봉
- BD** (Drawn Bar)-인발봉
- W** (Wire)-인발선
- TE** (Extruded Tube)-압출관
- TD** (Drawn Tube)-인발관
- S** (Shapes)-압출형재
- P** (Plate)-판, 원판, 조
- TW** (Welded Tube)-용접관
- FD** (Die Forging)-형단조
- FH** (Hand Forging)-자유단조

9.3.Bar 및 Tube의 종류 및 Size구분

- Bar (봉재)
 - 원형 봉 (Rod = Round Bar)
 - 정사각 봉 (Square Bar)
 - 정육각 봉 (Hexagonal Bar)
 - 정팔각 봉 (Octagonal Bar)
 - 직사각형 봉 (Rectangular Bar = Plate Bar)
- Tube (관)
 - 원형 관 (Pipe = Round Tube)
 - 정사각 관 (Square Tube)
 - 정육각 관 (Hexagonal Tube)
 - 정팔각 관 (Octagonal Tube)
 - 직사각형 관 (Rectangular Tube)
- Size 구분
 - Sheet : 0.25" (6.35mm) 이하
 - Plate : 0.25" (6.35mm) 이상
 - Wire : 0.375" (9.525mm) 이하
 - Rod/Bar : 0.375" (9.525mm) 이하



9.4. 열처리 전 소재공정에서 주의사항

9.4.1. 용해/주조시 주의 사항

알루미늄은 高 산화성이므로 O₂ 또는 수분 등 산화물질과 결합력이 크다. 불순산화물이 용탕에 들어가는 것을 방지한다. H₂Gas의 흡수가 용이하므로 N₂, Ar, Cl, Gas 또는 염화물로서 탈 Gas 처리한다. 응고 수축률 3.5~8.5%이므로 주조방안에 유의하고, 밀도가 낮으므로 압탕 부착에 유의하고, 열간 균열이 심하므로 취급에 주의한다. 그 외 불순한 혼입 방지, 지향성 응고로 유도, HOT SPOT가 될 수 있는 한 없애고 급랭하여 결정입도를 적게 한다. 이러한 조직이 열처리에 영향을 미치는 요소들로는 ▲결정입도 : 용해시, Gas 및 입도성장을 조장하는 조건을 없앨것(불순성분, Gas, 용해온도, 용해시간, 주입온도 등) ▲편석 : 중력편석, 응고시 Dendrite등 성분의 macro 편석에 유의 ▲화학적성분 : 필요열처리 맞게 적정화학적성분을 규정 이내에 상한 하한으로 필요에 따라 조정할 것 ▲공정조직 : 열처리시 가장 melting point가 낮은 공정조직이 될 수 있는 한 적도록 한다. (micro shrinkage Gas Hole 이물질 혼입)

9.4.2. 소성가공시 주의 사항 및 특성

소성가공에서 유의사항들은 작업품의 재질에 따른 작업기준 준수, 균질화처리시 Over Heating 유의, 가공비 및 가공경화에 유의할 것, Metal Flow에 유의할 것, 열간시 입자성장에 유의하고 그에 따른 열처리에 미치는 요소들은 결정입도, 균질화 정도, 가공경화정도, Metal Flow이다. 또한 열처리 작업 관리 사항은 공정점 이상 가열되지 않도록 할 것, Burning 유의, 온도범위를 ±3도이내 될수 있도록 관리할 것, 로내 온도분포를 주기적으로 점검할 것, 용체화시 Quenching Speed를 10"이내 될수 있도록 관리할 것이다.

9.5. 열처리 공정별 주의사항

9.5.1. 연신율합금의 열처리

9.5.1.1. 용체화처리(Solution Heat Treatment)

2000계, 6000계 및 7000계 합금등 열처리형 합금은 석출강화를 피하기 위해 용체화처리 - 냉각 - 시효 처리로 이루어지는 일련의 열처리를 한다. 용체화처리의 목적은 첨가원소와 Si, Fe 등의 불순물 원소의 고용화와 균일화를 꾀하는 것이므로 이를 위해서는 고상선온도를 넘지 않는 범위내의 고온에서 장시간 가열한 뒤 급속히 냉각 (Quenching)하고 제2상의 석출을 억제해야 한다. 용체화처리 온도와 시간은 합금의 종류와 가열로에 따라 달라지는데 주요합금의 배치식에서 표준적인 용체화처리 온도 및 냉각조건을 나타낸다. Quenching후 최대 지연시간은 로문이 열리기 시작한 후 부터 제품이 냉각수에 완전히 잠길 때까지 걸리는 시간을 말한다. 냉각수에 대한 온도는 Quenching전 32°C이하, Quenching후 38°C 이하로 유지하여야 한다. 또한 Quenching후 온도는 Quenching전 온도보다 11도 이상 상승하지 말아야 한다. 알루미늄합금 중 열처리형 합금은 그 고용도가 온도에 의존하기 때문에 합금원소의 최대 고용이 가능한 온도로 충분히 가열한 후 급냉하므로 상온에서 고온에서의 고용량을 그대로 고용하는 과포화 고용체를 형성시키기 위하여 경화 용질 원소를 고용시키는 열처리 과정을 용체화처리라 한다. Quenching(냉각)은 용체화 처리에 의해 얻어진 고용체 상태를 실온까지 보호 유지시켜 과포화 고용체가 되도록 하기위한 것이다. 급냉 시 발생하는 잔류응력을 경감시키기 위해서는 2018, 2218, 2618합금의 주조품은 100°C의 열탕속에 또는 4032합금의 주조품은 40~80°C의 온도속에 냉각한다. 냉각성이 좋지 못한 합금에서는 냉각속도가 느려지면 입계에 석출물이 생성되어 입계부식을 촉진 시키고 강도가 저하된다. 7075합금의 경우에는 응력부식 균열이 발생된다. 한편 냉각성이 매우 좋은 7N01합금에서는 공냉(Air Cooling) 또는 노냉(Furnace Cooling)을 실시한다. Quenching(냉각)성은 Quenching조건 외의 다른 첨가원소에 의해서도 영향을 받는다.

(1) 주요 SI 합금 전신재의 용체화처리 온도 및 냉각조건

합금명	용체화처리 온도(°C)	냉각조건	고상선온도(°C)
2011	507 ~ 532 (520)	Water 또는 Oil냉각	541
2014	496 ~ 507 (502)	Water 또는 Oil냉각	507
2017	496 ~ 510 (502)	Water 또는 Oil냉각	513
2018	505 ~ 520	열탕(100°C)	
2117	496 ~ 510	Water 또는 Oil냉각	553
2218	505 ~ 520 (509)	열탕(100°C)	532
2219	529 ~ 540	Water 또는 Oil냉각	543
2024	488 ~ 499 (492)	Water 또는 Oil냉각	502
4032	505 ~ 520 (512)	40 ~ 82 °C	532
6061	516 ~ 579 (530)	Water 또는 Oil냉각	582
6063	516 ~ 529 (520)	Water 또는 Oil냉각	615
6151	510 ~ 525 (520)	Water 또는 Oil냉각	588
6N01	525 ~ 535	Water 또는 Oil냉각	615
6262	515 ~ 565 (540)	Water 또는 Oil냉각	582
7001	460 ~ 471 (466)	Water 또는 Oil냉각	476
7N01	약 450	空冷 또는 랭	604
7050	471 ~ 482 (477)	60 ~ 82 °C	488
7075	460 ~ 471 (462)	Water 또는 Oil냉각	477

※ ()속에 있는 숫자는 일반적인 설정 온도임.

(2) 모든 SI합금 전신재의 용체화처리 균열(均熱) 유지시간 (공기로 적용)

두께 (mm)	유지시간 (min)	두께 (mm)	유지시간 (min)
0.41이하	20	38.11 ~ 50.80	150
0.42 ~ 0.51	20	50.81 ~ 63.50	180
0.52 ~ 0.81	25	63.51 ~ 76.20	210
0.82 ~ 1.60	30	76.21 ~ 88.90	240
1.61 ~ 2.29	35	88.91 ~ 101.60	270
2.30 ~ 3.15	40	101.60 ~ 112.70	300
3.16 ~ 6.35	50	112.71 ~ 125.40	330
6.36 ~ 12.70	60	125.41 ~ 138.10	360
12.71 ~ 25.40	90	138.11 ~ 150.80	390
25.41 ~ 38.10	120	150.81 ~ 163.50	420

주) 1. 두께 100mm이상은 1/2"(12.7mm)초과시 마다 30분씩 추가.

2. 두께는 재료의 가장 두꺼운 부분의 치수이다.

3. 균열 유지시간은 모든 로 안의 제어 계기가 공정범위의 최소치로 회복된것을 나타낼때 부터 측정하는 것이 바람직하다.

(3) 최대 냉각 (Quenching) 지연 시간

두께 (mm)	최대 시간 (초)
0.41 이하	5
0.42 ~ 0.76	7
0.77 ~ 2.30	10
2.31 이상	15

(4) Quneching조건에 따른 품질평가

- 온도가 높을 경우
결정 입도가 조대 해진다.
입계를 따라 미세Crack이 발생되고, 입내에 Rosette조직이 발견된다.
표면에 Blister가 발생한다.
입계 공정에 저용점금속들이 국부적으로 용융 되었다가 재응고 되어 균열과 유사한 형태로 변한다.
- 온도가 낮을 경우
공정 석출물이 미고용 된다.
경도, 충격치, 인장강도 모두가 미흡하다.
- 온도가 불균일할 경우
제품적재 위치별로 기계적성질 및 절삭성이 많이 차이난다.
- Quenching (냉각) 속도가 늦을 경우
석출물이 Quenching시 석출. 응집하여 조대해 진다. (작은원형 또는 4각형의 미세분포)
Cr과 Cu가 화합되어 화합물을 형성하는 관계로 Cu의 양을 감소시켜 강도저하 초래.
Quenching직후 경도가 정상속도 보다 약간 높다.
Aging (인공시효)후 경도가 낮다.
- Quenching (냉각)속도가 지나치게 빠를 경우
응력부식이 커진다.
응력이 많이 생겨 변형, Crack등이 발생할 위험이 크다.
Quenching직후 경도가 낮다.

(5) Quneching후 잔류응력의 제거

열처리형 알루미늄합금은 용체화처리후 급냉 시 두꺼운 제품의 표면과 중심부의 냉각속도의 차가 생겨 잔류응력이 발생한다. 냉각속도가 클수록 잔류응력은 커지므로 2000계와7000계 단조품 등에서 단면 형상이 복잡한 재료는 열탕(100°C)과 60~82°C의 온수에서 Quneching하면 큰 잔류응력의 발생은 방지할 수 있다. 하지만 복잡한 형상의 단조품에 있어서는 잔류응력의 발생을 완전히 방지할 수는 없다. 또한 필요한 경우 Quneching직후 인장및 압축의 소성가공(塑性加工:1.5~3.5% 영구변형)을 통해 잔류응력을 제거할 수 있다. 용체화처리후 Stretching이나 Roll교정 같은 소성변형을 할 때에는 1시간이내에 하는것을 권장하고 있다. 그 이유는 강도가 높은 상태에서 변형을 주면 Crack이 발생될 수 있기 때문이며, 특히 2000계,7000계 합금에서는 엄격히 규제하고 있다.이러한 문제 때문에 냉장고(-12°C이하)에 보관하여 자연시효를 지연시키며 작업을 한다.고력합금의 경우 잔류응력 및 입계부식을 최소화 하기 위하여 과시효 처리를 한다. 이때기계적성질은 약간 저하된다.잔류응력 발생시 응력부식 균열 및 기계 가공전, 후의 치수변화를 발생시킨다.

9.5.1.2.시효경화-인공시효 (age-hardening,artificial aging , 時效硬化)및 tempering

이 열처리는 과포화 고용체에서 제2상을 석출안정상태로 만드는 것으로서 자연시효는 상온에서 석출 경화 하는 것이고 인공시효는 필요온도, 응력, 기계가공 등으로 인위적으로 석출 경화 시키는 것으로 최소한 8시간 이상 필요하다.이 열처리 온도가 고온이면 짧은 시간에 낮은 경화가 되고 , 저온이면 경화가 길어지고 증가한다. 그 유효성은 Quenching 후 0°C 이하 온도에서 보관하면 시효경화가 비상히 늦게 진행 또는 전혀 진행하지 않는 현상이 있고 이를 이용하여 용체화 후 성형가공에 적용하기도 한다.Tempering Temp가 낮은 경우 충분한 석출이 일어나지 않아 제품의 가완료 후 치수변형 발생 , Stress relief가 미흡 , 경도 및 기계적 성질이 감소되고, Tempering Temp가 높을 경우 충분히 석출물이 미세하게 석출되고 , 온도가 과도하면 상 석출물이 응집, 경도가 낮아진다.

(1) 인공시효조건

합금명	질별	시효경화 열처리 조건
2011	T8	154~166°C x 14HR
2014	T6,T62,T651,T6510,T6511	171~182°C x 10HR
2018	T61(단조품)	165~175°C x 10HR
2024	T6,T81,T851,T8510,T8511	185~196°C x 12HR
2218	T64(단조품)	165~175°C x 10HR
2219	T81,T851,T8510,T8511	185~196°C x 18HR
	T6(단조품)	185~196°C x 26HR
4032	T6(단조품)	165~170°C x 12~20HR
6061	T6,T62,T651,T6510,T6511	171~182°C x 8HR(압출재)
		154~166°C x 14HR(인발재)
6063	T5	176~187°Cx3HR,212~222°Cx1~2HR
	T6,T62,T651,T6510,T6511	171~182°C x 8HR,176~187°Cx6HR
6066	T6,T62,T651,T6510,T6511	171~182°C x 8HR
6070	T6,T62	154~166°C x 18HR
6N01	T5,T6	171~182°C x 8HR
6151	T6(단조품)	165~175°C x 10HR
6262	T6,T6510,T6511(압출재)	171~182°C x 12HR
	T6 T651 T9(인발재)	166~178°Cx8HR(T6,T651,T9(인발관))
		166~178°Cx12HR(T9(인발봉))
7001	T6,T6510,T6511	116~127°Cx24HR
7003	T6	약90°Cx5~8HR+150~160°Cx8~16HR
7N01	T6	약121°Cx24HR
7050	T7651	116~127°Cx3~6HR+157~168°Cx12~15HR
	T7351,T76510<76511	116~127°Cx3~8HR+157~168°Cx15~18HR
7075	T6 T651 T6510 T6511	116~127°Cx24HR
	T73 T7351(인발재)	102~113°Cx6~8HR+171~182°Cx8~10HR
	T73 T73510 T73511(압출재)	102~113°Cx6~8HR+171~182°Cx6~8HR
	T76 T76510 T76511(압출재)	116~127°Cx3~4HR+154~166°Cx18~21HR
7178	T6,T651,T6510,T6511	116~127°Cx24HR
	T76 T76510 T76511(압출재)	116~127°Cx3~5HR+154~166°Cx18HR
7475	T651	116~127°Cx24HR

9.5.1.3. 안정화처리(stabilizing treatment)

이 것은 필요한 고온으로 가열 후속 시효변화를 완전히 없게 하여 제품의 치수, 기계적성질 등을 안정화시키는 작업으로서 Al-Mg계의 시효연화 현상방지를 위하여 고온 가열한다. Solution & aging 제품의 치수 및 기계적 성질 안정을 위해 aging시 고온가열 작업을 한다.

9.5.1.4. 소둔 (燒鈍, Annealing)

재료의 전가공 상태에 따라 약간의 차이가 있으나 온도가 약 300°C 이상 가열 시간은 30분~1시간 유지 공랭처리하여 소둔시키면 가공성이 확보된다. 이미 열처리가공에 의해 연질화되면 보통 소둔온도보다 고온 약 410°C, 유지시간을 1시간 이상으로 한다. 냉각속도는 250°C까지는 15-30 °C/h로 한다. 저온소둔 (Law Temp Annealing): 시간, 비용 절감을 목적으로 필요 정도의 연화목적 Partially annealing 실시하고 재료의 가공능력 필요성질에 따라 작업조건이 다르므로 시험에 의해 온도, 유지시간을 선택한다. 순간소둔 (flash annealing): 제조를 위해 (Deep Drawing 용) 실시하는 소둔작업 결정 입도의 성장에 의한 Orange peel 생성을 억제하기 위한 작업으로서 가열온도는 일반 소둔보다 고온인 450~550°C, 유지시간은 30초~3분이다. 콘베이어 식로 온도, 가열시간을 설정하고 순간 가열로에서는 광택유지용으로 산화가 적다.

전신재의 일반적 소둔조건

합금	온도(°C)Ⓜ	유지시간(H)	합금	온도(°C)Ⓜ	유지시간(H)
1060	343	Ⓜ	5083	343	Ⓜ
1100	343	Ⓜ	5086	343	Ⓜ
1350	343	Ⓜ	5154	343	Ⓜ
2014	404Ⓜ	2~3	5254	343	Ⓜ
2017	404Ⓜ	2~3	5454	343	Ⓜ
2024	404Ⓜ	2~3	5456	343	Ⓜ
2036	404Ⓜ	2~3	5457	343	Ⓜ
2117	404Ⓜ	2~3	5652	343	Ⓜ
2219	404Ⓜ	2~3	6005	404Ⓜ	2~3
3003	413	Ⓜ	6053	404Ⓜ	2~3
3004	343	Ⓜ	6061	404Ⓜ	2~3
3105	343	Ⓜ	6063	404Ⓜ	2~3
5005	343	Ⓜ	6066	404Ⓜ	2~3
5050	343	Ⓜ	7001	404Ⓜ	2~3
5052	343	Ⓜ	7075	404Ⓜ	2~3
5056	343	Ⓜ	7178	404Ⓜ	2~3

ⓂⓂ이 어닐링은 용체화 처리의 영향을 제거한다. 냉각 속도는 어닐링 온도에서 260°C

까지 1시간당 28°C이어야 한다. 그 이후의 냉각 속도는 중요하지 않다

Ⓜ이 어닐링은 204°C이하까지 대기중에서 냉각 속도를 관리하지 않고 냉각하고, 이어서 232°C까지 4시간으로 재가열 한 다음 실내 대기 상태에서 냉각하는것 용체화 처리의 영향을 제거한다.

Ⓜ로내 신간은 금속의 두께 또는 지름을 고려하고 장입물의 중심을 희망하는 온도로 하기 위하여 필요한 시간보다 길게 할 필요는 없다. 냉각 속도는 중요하지 않다

Ⓜ어닐링 로내의 금속 온도의 변동은 +5.6°C, -8.3°C이내로 하는 것이 좋다.

9.5.2. 주물용 합금의 열처리(heat treatment of alloys casting)

연신재와 동일하나 단 유지시간은 주물조직 중 dendrited 등 조직이 불균일 하므로 이를 확산, 경화 원소를 충분히 고용시키기 위해 보다 오랜 시간이 필요하다.

9.6. 열처리 장비 선정 및 점검

9.6.1. 염욕(鹽浴, salt bath)

염을 이용한 열처리는 저온용 600~200°C용으로서 장점은 급속 가열가능, 제품의 형상 수량에 관계없이 계속작업 가능, 변형이 적고, 설비 비용 저렴, 온도 분포 균일에 있다. 반면 단점으로는 유지 비용이 비싸다, 염에 의한 제품부식 발생, 후처리 비용이 든다, 소입후 오염방지를 위한 over flow 시설 및 물소모가 많다, 염이 인체에 해롭다 등 이다. 따라서 소량 다품종이며 설비비용이 허락치 않을 때 사용한다. 작업상 주의사항 및 점검요소로는 첫째 폭발주의이다. salt 첨가시 건조 예열 철저, 조금씩 투입, 제품 투입시 탈지 건조를 철저히 한다. 또한 NO₂가 급격히 감소하면 폭발하므로 pot 재질을 스테인리스로 하고 국부적으로 가열되지 않도록 유의한다. Sludge가 많으면 국부가열이 되어 폭발하므로 철저히 제거한다. 595°C 이상 되지 않도록 하고 온도계는 400~600°C용 사용한다. 물가까이 salt를 두지 말고 pot에 접촉시키지 말고 제품온도 및 노내 온도 분포를 점검, 관리한다.

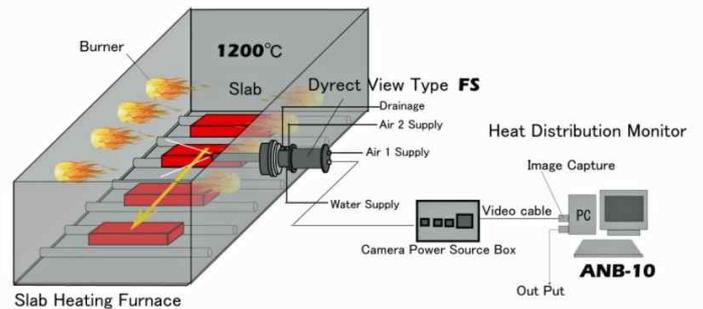
9.6.2. 전기로(電氣爐, electric furnace)

전기로는 분위기 혹은 공기중에서 전기 저항 혹은 유도가열로서 열처리하는 장치다. 그 장점은 작업온도 범위가 넓고 여러 가지 작업가능하고, 작업비용이 저렴, 대량작업이 가능하다. 반면 단점으로는 설비비가 비싸고, 작업가열시간이 길며, 다음 다른 작업을 위해 기다리는 시간이 길어서 대량 작업으로 Quenching 작업이 어렵다. 주의사항으로는 노내의 온도 승온 및 분포상태를 월 1회 이상 점검, 과도한 산화성 분위기가 되지 않도록 Sealing에 유의, 급속가열로 인한 노 Heat Hysteric 현상에 유의, 취출이 용이하도록 노 뚜껑 fao Muffle 설치 및 제품적재 Jig Basket 적절히 사용, 노 온도 조정용 CA Thermo Couple은 필히 제품가까이 삽입, 노 승온속도를 조절할 수 있는 컨트롤러 부착, 노 주위에 수분제거, Quench Tank와의 거리는 필요 유대시간 이내 작업이 가능한 범위내에 노 설치, 제품 Quenching용 장비는 최대 급속 Quench이 가능하도록 설치하는 것이다. 노 내부 구조는 신속히 cover를 열 수 있고, 노내 분위기 순환 장치, 열류 → Hysteric 현상 및 열방출 감안 설치, cover에 열방출 방지용 Sand box 설치, 신속 제품 취출을 위한 Muffie 설치이다.

노 온도 분포 점검하는 것은 내부에 열전대를 설치 기록하는 것이다.



■ Applications NO.8 Slab Temperature Monitoring in the Heating Furnace



노 내 실제품 적재 온도승온 유지, Quenching Speed 점검시 Drill ϕ 1~2.0로 제품 가장두꺼운 부위 중앙까지 작업 thermo couple 끝부에 삽입고정, 노 내 위치에 적재시킨다.

9.6.3. quenching system

수냉조는 가열로내부의 1.5~2배로 하고 , Pump 순환식일 경우 분당 1회전 이상 되는 pump 설치하여야 하고 Air Agitation 경 우 충분한 용량의 압축공기를 사 용한다.(mono Rail 급속 Hoist와 Swing Type 급속 Hoist 사용)



9.7. 검사설비

열처리시료 검사용 장비로는 경도계 Brinell 500kg, 금속현미경 50x 100x 400x 800x , 인장시험기 , 전자현미경(SEM) 등이 기본적인이다.



9.8. 열처리 검사

열처리재의 물성을 측정하는 시험은 기계적 성질에서는 인장시험, 압축시험 , 경도시험이 있고 비파괴 검사로는 액체침투검사 (표면결함 crack), 초음파검사(내부결함 crack)이 있다. 절삭시험으로는 면조도 , 절삭성, 변형조사를 하고 조직검사에서 micro structure, macro structure를 관찰한다.부식시험은 먼저 19cm 시험편 표면산화물 등을 제거하고, 5% HNO₃+0.5% HF용액 95°C 1min 침적 세척 → HNO₃ 1min 침적 상온 → 세척 , 57g NaCl + 10ml (30% H₂O₂)온도 30 ±5°C에 6hr 침적 , 세척 (Brush 이용) → 심하게 부식된 부위 단면 절단 → 현미경시편 , 현미경 100x 500로 진행한다. 그 외 전기전도도 시험이 있다.