



Cu), 800(Al-Sn) 계열의 특수합금이 생산일정에 추가되면 이들 합금에 대한 별도의 용해로가 요구된다.

Si이 함유된 잔탕이 남겨진 도가니에서 500, 700 계열합금의 용해작업을 하면 기계적성질과 주물신뢰성에 큰 문제가 생긴다. 그와 같이 356합금에서 Cu를 함유하는 319나 355합금 잔탕은 주조성에는 큰 영향이 적지만 기계적성질이나 내식성을 해친다.

만약 다중용해작업이 이루어지지 않는 경우 도가니의 오염방지에 주의를 하여야 하며 소량의 Si, Cu합금도 고순도 주물에는 오염이 될 수 있다. 소형도가니를 교체하여 주 용해용기의 오염을 방지하는 것도 방법이다. 그러나 용기의 교체나 조정도 한정된 물량인 경우 고려가 될 수 있다.

## 2.2 용탕수요량

용탕수요량도 주요 요소로서 필요한 양을 적시에 공급하는 것이 필요하다. 만약 플로어나 켄베어에 설치된 스퀴즈조형기(squeezer)나 롤오버(rollover mold)를 사용하는 경우 잠시 지체는 금속수요를 유발하여 조형의 출발변동이나 조형의 연체를 가져 오게 한다. 따라서 개별적인 수요에 대응하기 위한 시간이 요구되며 나쁜 경우는 예상보다 조기에 용탕이 공급될 수 있다. 만약 자동조형라인이 주 생산인 경우 특정 주입온도에서 청정용탕이 필요한 시기에서 벗어나 출방하게 되고 조업을 하는 동안 계속 되어진다. 대체로 자동라인은 주입 전에 약간의 여유를 가지므로 안정된 효율을 유지하기 위해서는 적절한 용탕공급이 중요하다.

알루미늄주조에 사용되는 용해로에 대한 통계를 보면 주로 도가니로를 주용해로로 사용하고 탄력적으로 운용하고 있다. 미국의 경우 알루미늄 주조업체의 2/3가 도가니로를 사용하고 있고 20%만이 반사로와 전기저항로를 같이 사용하고 있다.

도가니로가 널리 이용되는 것은 제조업체에서 다양한 크기, 에너지 종류, 제어와 기능에 대응하는 설비를 제공하고 있으며 표준의 고정식에서 경동식과 이동형 전기로 등으로 주조에 요구되는 다양한 요구를 만족시키기 때문이다.

또한 300 lb의 전기 주탕레들이 공급되고 있다. 이것을 사용하면 용탕품질과 온도가 제어된 상태에서 직접 주형에 주조가 가능하여서 용탕이동에 따른 가스혼입, 개재물이나 온도손실을 억제할 수 있다.

최근 도가니로의 신기술은 제어시스템의 향상으로

서 100% 고상작업이며 전기와 가스용해를 동시에 제어하는 것이다. 소형 도가니로를 제외한 이들의 향상은 그날 수요에 따른 초기 용탕대기가 최소화 또는 완전히 생략이 가능하게 하였다. 이 혁신은 일반 조업후에 로에 장입이 가능하여 재료의 실제 용해시 최대출력시기를 조절할 수 있고 사전 프로그램된 일정으로서 정상조형의 지체출발에 대하여 적절한 생산 주입온도가 되도록 용탕을 과열시킬 수 있다.

또 다른 이점으로서 새 시스템에서는 온도제어가 크게 개선되는 것이다. 그 결과 목표온도에 이르면 가열속도를 줄여서 과열상승을 최소화하도록 제어가 가능하다. 그러나 이 경우 용해속도가 감소하므로 모든 주조분야에 유리한 것은 아니다.

개선된 제어와 용탕품질을 가지는 용해로를 신규 구입하여 조업을 하면 환경면에서도 유리하다. 가스연소로 도가니에서 상부에 개방된 화염이 없어짐으로 보다 조용하게 조업이 이루어지며 단열재 뚜껑을 사용함으로 조업공간에서 열손실이 감소하여서 조업자에게 긍정적으로 기여하며 생산성도 증가한다.

대부분의 조업은 배치용해로로서 개방된 도가니로에서 이루어지며 장입량의 60~80%를 사용하면 재장입을 한다. 대표적으로 2개의 용해사이클(때로는 3사이클)로 가스와 전기도가니로를 같이 조업하여 하루 8시간씩 작업을 한다. 용해금속의 중량비 평균연료비는 신규모델의 경우 로라이닝재의 경량내화재와 단열뚜껑으로 인하여 낮아진다고 보고[4]되고 있다.

## 2.3 전기로 대 가스로장치

전기로와 가스연소로의 선택은 간단하지 않다. 일부에서는 환경오염을 줄이려고 전기로를 강조하고 있으나 대부분 알루미늄주조업체에서는 조업특성에 따라 결정하고 있다. 전기 용해로는 쾌적한 조업환경, 낮은 용해손실, 도가니 수명증가와 우수한 용탕품질의 정점이 있으나 높은 에너지비, 유지비와 다소 낮은 용해속도와 고설비비가 단점이다.

가스연소로는 높은 용해속도와 낮은 시설비 및 용이한 설치와 저렴한 연료비로 인하여 다수 사용이 되고 있다. 최근 새로운 연소설비의 도입은 전기로에 근사한 환경을 제공하고 있으나 전기로에 비해 도가니 수명감소와 용해손실이 큰 것이 문제이다. 용탕품질은 대개 회전식 탈가스장치를 사용함으로 차이가 적고 새로운 용해로에서는 그다지 문제가 되지 않는다.

도가니로 조업에서 특히 전기로에서 전열코일로 인한 예상보다 유지비가 증가하는 것이 문제이다. 어느 가열방식이든 최대한 생산량을 증가하는 것이 관건이다. 대부분 광고의 내용보다 용해속도가 적는데 이는 장입시간손실, 과열현상이나 탈가스나 주탕으로 열감소 등이 반영되지 않는 최적화된 상태를 말한 때문이다. 보통 300 lb/hr의 용해속도를 가지는 도가니로에서 실제로 하루 8시간 작업시에 주입온도에 이른 용탕을 2400 lb 제공하지 못한다. 또한 문헌상의 용해속도는 보통 주조시에 주입온도보다 낮은 최소과열온도에 이르는 경우를 말하는 경우가 많다. 이러한 점을 고려하지 못하면 생산효율이 감소한 상태로 조형일정을 조정하여야 한다.

### 2.4 열효율과 용해손실

최근 내화재의 공업적변화, 단열두껍의 도입, 버너와 제어시스템의 발전 및 열손실을 최소화 하는 연통설계 등은 도가니용해로의 열효율을 크게 향상시켰다. 가스연소로의 경우 종래 열효율이 2000~3000 Btu's/lb이었으나 최근 장비는 1500 Btu's/lb 수준으로 향상되었다. 아울러 용탕을 철야 유지하는 데에도 큰 발전을 가져오게 하였다.

조업시에 종종 간과되는 것이 용해손실의 제어이다. 이 부분의 효율증가는 신규장비에서 투자비를 오래 연장시키는 역할을 할 뿐더러 공장의 손익분기점에 큰 기여를 한다. 조업조건과 관리에 따라 약 1%의 낮은 용해손실에서 일부 오래된 로에서는 10%의 손실이 된다.

손실의 많은 부분은 적절한 조업실시, 효과적인 플럭스 사용, 조업교육과 장비 최소 변동 등으로 조절이 가능하다. 소재값이 \$1/lb(미국기준)으로 이 부분이 주조이익증가에 크게 기여할 수 있다.

한편 미국의 경우 알루미늄 용탕재(dross)를 수송에 위험한 물질로 분류가 되어서 주조업체나 용탕재 운송업에 규제가 되고 있다. 특히 젖거나 가열된 용탕재의 선정은 금지되고 있어서 특별포장이 요구되고 서류에도 별도 명시가 요구되고 있다. 이러한 점이 향후 고려가 필요한 부분이다.

## 3. 도가니의 수명 향상 방안들

도가니로에서 도가니의 역할은 매우 중요하다. 용탕을 담는 용기일 뿐 아니라 용해열의 전달 수단이며

용탕의 품질관리에서부터 조업생산성과 경제성에 미치는 영향이 크다. 도가니자체도 새로운 기술로서 정수압성형과 특수접합재의 개발을 들 수 있다. 정수압성형된 도가니는 치밀하고 열전도가 빠르고 열충격에 강하여 기대되고 있다.

전기로의 보급으로 보다 저융점의 접합재와 특수 접합재가 요구되어지며 특히 저압주조의 밀봉시스템에 적합한 도가니의 개발이 추진되고 있다. 이러한 도가니의 개발에서 주조업계에서는 수명증가가 주요 관심이다. 도가니 수명은 수명은 주로 주조공정에 좌우되며 관리자는 전주조공정과 장비를 종합적으로 알고 있어야 한다.

미국에서는 알루미늄주조에서 일년에 도가니로 2000만불을 사용하고 있다. 기본적인 관리로서 도가니 최적화 운동을 전개함으로 이들 비용의 50% 이상을 절감을 추진하고 있다. 여기서는 이들의 도가니의 수명향상에 방안[5]들을 소개하였다.

### 3.1 산화(Oxidation)

도가니의 산화는 탄소결합재가 서서히 산화 소모됨으로 도가니의 물리적 성질을 변화시킨다. 보다 중요한 변화는 전도도의 감소(용해시간과 에너지소모의 증가발생)와 기계적 강도의 감소이다. 산화는 모든 도가니에서 시효에 따른 자연적인 현상이다. 그러나 어떤 주조조건에서 이 공정이 가속되어 조기의 파손이 일어난다.

도가니 상단 원주끝에서 일어나는 산화는 알루미늄 용해 특히 전기저항로 작업시 조기 도가니손상이 원인이 된다. 상단 원주의 산화에 대한 징조는 상단원주부 근처에서 수직으로 발생하는 일련의 미세균열이다.

#### 조치

1) 적당한 공기/연료 혼합비를 유지한다. 연소로의 혼합물은 약간의 산화성 화염을 만들어 낸다(녹색 끝으로 보이는 화염). 이 혼합물 중에 산소농도가 커지면 고산화성 분위기를 만들고(짙은 녹색) 도가니의 산화가 진전된다. 필요하다면 보수업체와 함께 정기보수시 버너를 정밀조정 및 점검하여야 한다.

2) 도가니업체에 특수접합재의 이용여부를 문의한다. 어떤 도가니업체는 추가로 산화방지 및 지연을 위한 도가니상단에 사용할 접합재를 제공한다. 만약 상부원주의 산화가 조업에 문제가 되면 이러한 추가 접합재를 비용을 들여서도 사용할 가치가 있다.

3) 적절한 설치공정을 지킨다. 상부원주의 산화는 종종 도가니상단이 보호성 접합재가 활성화되지 못한 데서 발생이 되고 있다. 주조업체에서는 팽창에 대비하여 로상부에 세라믹 섬유를 사용한다. 만약 이 섬유가 도가니나 로벽간에 있는 연소공간에 충전되면 로의 상부는 실제로 단열이 되고 거의 열을 받지 못한다. 이것은 산화를 촉진시킨다.

4) 가능한 금속을 도가니에 최대량 장입한다. 만약 도가니가 반 정도 차면 상하의 열량차이가 커져서 균열을 일으키며 빈 공간의 도가니벽은 보다 산화성조건에 노출된다.

### 3.2 플럭스 침식(Flux attack)

대개 알루미늄 플럭스는 알칼리염류(Chlorides, fluorides)를 가지고 있다. 특히 문제는 염화불소(sodium fluoride)이다. 도가니는 조업온도에서 다공질이 되어 플럭스가 실제로 도가니벽을 통과하여 최고온부인 로연소실로 이동한다.

도가니에 대한 플럭스의 침식은 쉽게 진단이 된다. 전통적인 징조는 외부 벽이 뒤틀리며 거품의 접합재가 나오고 다소 녹색으로 변한다(그림 1).

#### 조치

1) 용탕처리에 필요한 최소량의 플럭스를 사용한다. 과도한 사용은 도가니의 플럭스 침식의 주원인이 된다.

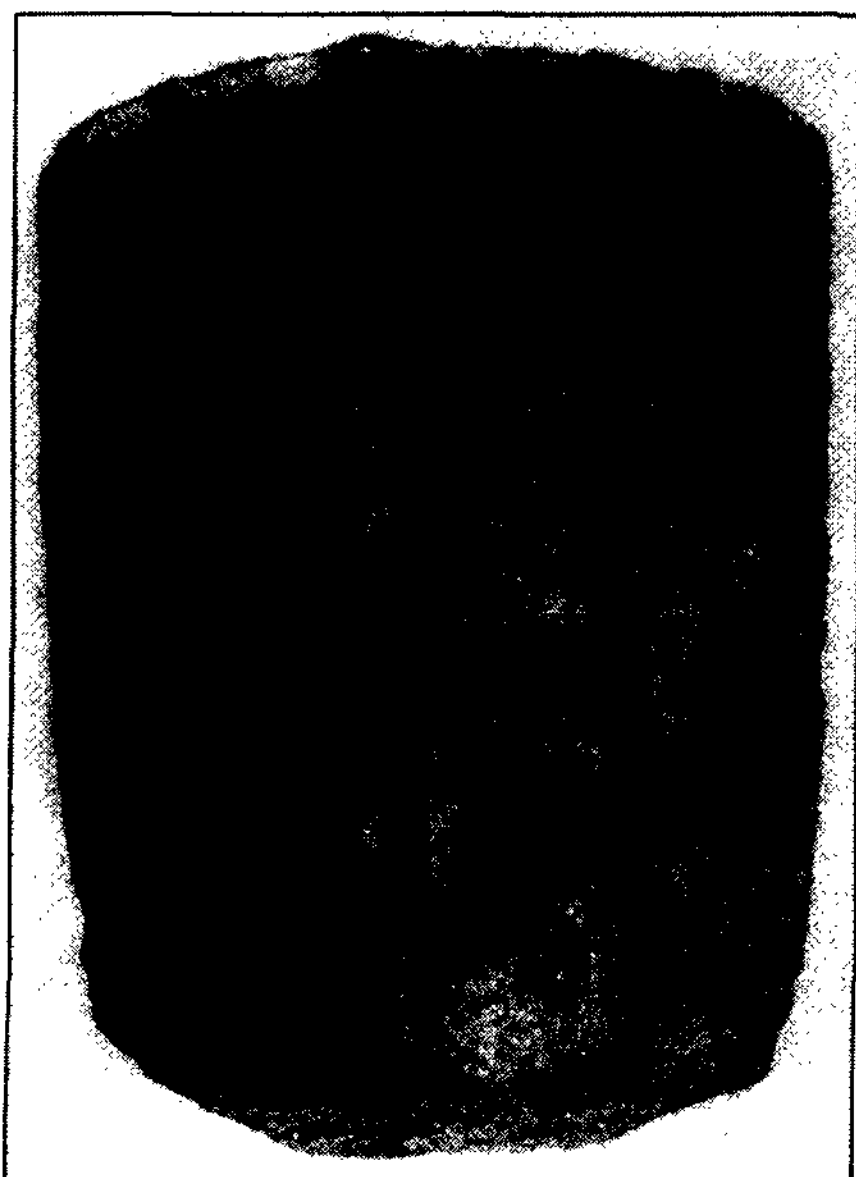


그림 1. 플럭스 침식으로 뒤틀리고 거품상의 도가니.

2) 빈도가니의 바닥에 플럭스가 장입되지 않도록 한다. 알칼리 플럭스는 알루미늄보다 낮은 온도에서 용융이 되어서 용융 알루미늄이 없어도 플럭스는 직접 도가니벽과 반응을 한다.

3) 용탕이 과열되지 않게 한다. 플럭스는 열에 의해 활성화가 되어 고온부를 찾으며 용탕과열은 도가니온도를 상승시켜 도가니벽으로 플럭스의 이동을 촉진시킨다.

4) 도가니 주변 벽에는 슬래그의 퇴적이 없게 한다. 이 슬래그는 플럭스를 함유하여서 가열되면 떨어져서 용탕이 없어도 로벽으로 빠르게 침투한다.

### 3.3 화염충돌(flame impingement)

연소로에서 도가니의 최대조기 손상원인은 부적절한 버너 관리나 화염충돌이다. 가장 좋은 도가니조업 상태는 전체적으로 균일하고 일정한 가열이다. 화염은 방해받지 않고 도가니주변을 자유롭게 돌아야 한다. 버너 충돌은 여러가지 문제를 일으키며 육안으로는 그 징조를 인식하기 어렵다. 수평균열들이 주로 발생하며 불균일한 도가니 가열의 분명한 징조는 외벽의 접합재 상태나 색깔이 다양하게 변하는 것으로 고온과 저온부를 알 수 있다. 징조는 외벽의 접합

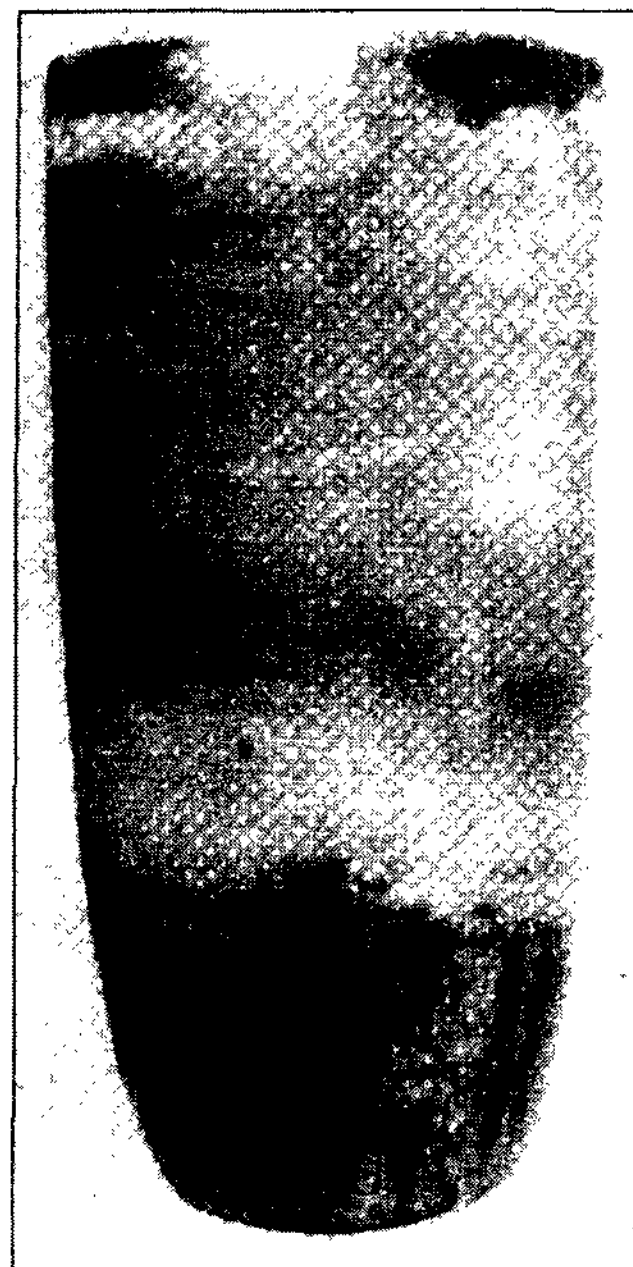


그림 2. 화염충돌로 국부적 과열응력을 받고 변색되고 파손된 도가니.

재 상태나 색깔이 다양하게 변하는 것으로 고온과 저온부를 알 수 있다(그림 2).

조치

1) 적당한 버너정렬상태를 유지한다. 많은 화염충돌 문제가 단지 나쁜 버너조절에 기인하고 있다. 고전적인 원리-화염은 직접 연소실로 들어가야 하며 상부로 향하여 회오리쳐 가도록 하여야 한다. 또한 도가니나 하부블록과는 직접 부딪치지 않도록 하여야 한다. 버너 포트의 중심선이 바닥지근처 또는 바로 아래에 오도록 설치하여야 한다.

2) 로의 내화재벽과 마루는 부스러기가 없어야 한다. 많은 도가니 손상이 로벽이나 바닥의 부스러기가 화염과 충돌하여 화염을 분산시켜 도가니와 직접 단게 하고 과열을 일으켜 발생이 되고 있다. 바닥이 있는 조그만 내화재조작이나 슬래그 또는 불균일한 로벽은 자연적인 화염의 순환을 방해하여 고열부(hot spot)을 발생시키거나 화염의 양상을 혼란시켜 부분적으로 비가열 또는 저온부를 만든다.

3) 배출구는 마개를 유지한다. 개방된 배출구는 굴뚝효과를 일으키고 버너가 정지하면 차가운 공기를 유입시킨다. 이러한 급냉은 열균열을 일으킨다.

3.4 도가니 설치

도가니 설치의 공정에 따라 다르다. 도가니 설치에는 전문적인 기술이 요구되지 않는 것으로 보이나 설치를 조속히 완료하려고 서두르다 보면 기본적인 원리를 잊어 버릴 수 있다.

조치

1) 항상 적당한 크기의 도가니 받침대(baseblock)를 사용한다. 받침대는 도가니와 같은 재질을 사용하여야 같은 속도로 수축 팽창을 한다. 적절한 버너설치를 위한 높이를 가져야 하며 설치시에 실수에 대한 여유를 가지도록 도가니 바닥보다 5 cm 정도 큰 직경을 가져야 한다(보통 도가니 중심에 정확하게 설치하지는 못한다).

받침대는 재사용이 가능하나 추천할 수는 없다. 받침대도 산화가 되고 사용하면서 취약해지므로 도가니에 비해 비용이 미미하므로 새 도가니를 성치시에 새것을 사용하는 것이 바람직하다. 저항로의 도가니도 또한 받침대가 필요하다.

2) 도가니와 로를 결합시키지 않는다. 도가니는 가열시에 팽창하므로 상온에서는 팽창에 따른 여유가



그림 3. 매일 고온에서 도가니 청소 및 슬래그 제거실시를 하고 도가니와 로 두경사이에 열차단요를 사용하여 팽창여유를 둔다.

있어야 한다. 로설계시에 도가니와 로를 시멘트처리 또는 무거운 뚜껑으로 결합시키면 팽창균열이 발생한다. 대부분 제조업체에서 팽창쿠션으로서 도가니상부에 열차단요(Thermal blanket)를 설치하도록 추천한다(그림 3).

3.5 슬래그 퇴적물(Slag deposits)

알루미늄의 산화물은 도가니벽 안쪽에 슬래그 퇴적물의 누적을 일으키고 이것들이 도가니 수명에 크게 악영향을 미친다. 가열시에 이들 슬래그층이 도가니보다 빨리 팽창한다. 약 700°C에서 이 슬래그의 팽창이 도가니보다 10배가 되어서 10~25 mm의 층은 도가니에 균열을 가져오게 한다. 이 슬래그는 또한 플렉스를 함유하여서 플렉스 침식의 위험도 있다.

조치

매일 도가니벽을 청결하게 한다. 이 슬래그는 약하고 고온에서는 유연하여져 벽을 수직으로 긁어서 쉽게 제거가 가능하다. 이 경우 도구의 끝은 원형으로 하여 도가니내벽과 비슷한 곡율을 가지게 한다(그림 3).

보고가 효율적인 알루미늄 도가니 용해공정에 참여할 주조인들에게 참고가 되기를 바란다.

참 고 문 헌

[1] 중소기업청; 다이캐스팅업체의 실태조사보고서, 1996.  
[2] Arthur C sreet; The Diecasting Book, 2nd, 1996 p. 422.  
[3] Daniel E. Groteke; Modern Casting, /dec. 1997. p. 47.  
[4] Michael J. lessiter; Modern Casting, /Dec. 1997, p. 50.  
[5] Stephen T. Robinson; Modern Casting, /Nov. 1996, p. 52.