

가열주형식 수평연속주조 기술개발 현황 및 전망



김 문 회

(KIMM 재료기술연구부)

'91 - '98 홍익대학교 금속공학과(학사)
'98 - '00 홍익대학교 금속공학과(석사)
'00 - 현재 한국기계연구원 위촉연구원



문 병 기

(KIMM 재료기술연구부)

'90 - '94 충남대학교 재료공학과(학사)
'94 - '96 충남대학교 재료공학과(석사)
'96 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



박 원 욱

(KIMM 재료기술연구부)

'74 - '78 서울대학교 금속공학과(학사)
'79 - '81 서울대학교 금속공학과(석사)
'81 - '85 서울대학교 금속공학과(박사)
'89 - '90 The University of Sheffield, Visting Scientist
'85 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서 론

최근 전자산업의 급속한 발전에 따라 이용되는 부품은 소형 정밀화 또는 박막화 되고 있을 뿐만 아니라, 품질상의 요구도 더욱 엄격해지고 있다. 전자기기 등의 집적회로에 이용되고 있는 bonding wire, 고급 음향기기의 케이블, 소형 모터용 마그네틱 등은 수십 μm 이하의 극세선이면서, 그 요구특성이 매우 까다로와 기존의 주조방식에 의해서는 극한상황에 사용되는 재료를 창출해내기는 제조상 어려움이 뒤따른다. 기존의 냉각주형식 연속주조법은 수냉주형에 용탕을 공급하여 주형 벽면 상에 우선 안정한 응고각을 형성시킨 후 연속적으로 주형으로부터 인출하여 주피를 얻을 수 있기 때문에 주형벽면에 수직한 방향으로 성장하게 되어, 주피가 최후에 응고하는 중심부에서는 기공이나 불순물의 편석발생을 완전히 억제할 수는 없다. 따라서, 요구하는 특성이 매우 까다로운 재료개발에는 주피 자체가 등축정이 아닌 일방향 응고조직이나 단결정이어야 하며 재료 내부에는 기공 등의 결함이나 편석 등이 극히 억제되어야 할 것이다. 소형화의 예로, 통상 30 μm 이하의 초극세선이면서, 기계적으로 안정한 특성을 가진 반도체 IC, LCD의 bonding wire를 들 수 있다. 그러나, 이와 같은 초극세선을 제조하기 위해 반드시 고려되어야 하는 사항 중의 하나가 건전한 주피의 선택이다. 즉, 내부결함, 표면결함 및 용질원자의 편석이 억제된 단결정 또는 일방향응고조직을 가진 주피를 사용해야 이와 같은 초극세선을 제

조할 수 있을 것이다. 고품위의 주피를 얻는 주조 방법으로는 기체가압식 Hot Top주조법^[1~2]이나 전자장주조법(EMC)^[3~5] 등이 있으나, bonding wire와 같은 30 μ m 이하의 극세선용 주피 제조에는 부적합하다. 그 이유는 이러한 주조방식이 내부결함이나 표면결함 등을 어느 정도 감소시킬 수는 있지만, 기계적 안정성과 극세선가공 모두에 도움이 되는 일방향응고 또는 단결정조직을 가진 주피를 얻기가 어렵기 때문이다.

일본의 千葉工業大(Chiba Institute of Technology) 명예교수인 Atsumi Ohno교수에 의해 개발된 가열주형식 연속주조법(일명 Ohno Continuous Casting(OCC)이라고 한다)으로 제조된 주피는 일방향 응고 또는 단결정 조직을 가지고 있을 뿐 아니라, 내부의 결함이나 표면결함을 거의 내포하지 않기 때문에, 초극세선이나 난가공소재의 가공, sputtering target 제조 등 극한재료의 이용에 적합하다는 것이 세계적으로 널리 알려져 있으며, 많은 연구가 행하여지고 있다.^[6~10] 일본의 경우, 일본 경금속, 오오사카 후지공업, 치오다 금속, 후루카와 공업, 스미토모 전기 등에서 실용화를 위한 연구가 많은 진전이 있어, stellite 선재, bonding wire, sputtering target, Sn-Zn solder재, 음향기기의 cable용 주피 등의 제조에 이용되고 있다.

국내의 경우, 전량 수입에 의존하고 있는 Al 및 Al-Si합금 bonding wire의 개발을 금성전선(現 LG전선)이 시도한 적이 있으나, 기존의 주조방식에 의해 등축정이면서 결함이 다수 존재한 주피가 제조되었기 때문에 수십 μ m 이하의 극세선으로는 제조가 불가능했다. 또한, 다른 국내기업에서도 비철합금 wire를 외국으로부터 공급받아, 수십 μ m 이하의 극세가공하여 제품화하고 있으나, 공급소재 내에 존재하는 다수의 결함으로 인하여 현재까지 높은 단선율을 극복하지 못하고 있다.

즉, 가공, 편석, 비금속 개재물 등이 없고, 결정입계가 존재하지 않는 단결정 또는 일방향 응고 주피가 우선적으로 개발되어야만 고기능·고성능

의 부품에 적용되는 전자부품재료의 개발이 가능하며, 이러한 원소재의 제조에는 가열주형식 연속주조법이 적합할 것이다.

2. 가열주형식 수평연속주조

단결정 또는 일방향 응고주피를 제조할 수 있는 가열주형식 연속주조법의 원리 및 기술, 종류 등과 가열주형식 연속주조법중 주조속도가 비교적 빠르고, 주피를 연속적으로 생산할 수 있으며 장치의 설계가 비교적 간단한 가열주형식 수평연속주조법을 대상으로, 관련된 세부장치와 그 기능, 양질의 주피를 제조하기 위한 제조변수와 제조된 주피의 특성에 관하여 기술하고자 한다.

2.1. 가열주형식 연속주조의 원리 및 기술

기존의 연속주조법은 냉각주형내에 용탕을 공급하여 주형벽에서 응고를 진행시켜 용탕의 단락이 일어나지 않도록 주형내에서 응고층을 형성시킨 후 주피를 주조하는 방식인데 반해, 가열주형식 연속주조법은 기존의 연속주조공정에서 사용하는 냉각주형 대신에 주조 금속의 응고온도 이상으로 가열한 주형을 이용하여 주형의 벽면에서의 용탕의 응고를 방지하는 것이 특징이며, 이와같이 주형벽면에서의 결정의 핵생성을 저지하여 주피를 주형의 밖에서 냉각되도록 하면, 열이동 방향과 일치된 우선성장방향을 가진 결정만이 경쟁성장에서 살아남게 되어 주상정 또는 단결정인 소재를 얻을 수 있다. 그림 1은 가열주형식과 기존의 냉각주형식 연속주조법의 원리를 비교한 것이다.

기존의 주조법으로 제조한 주피의 경우 압출공정과 인발, 신선, 열처리 공정 등을 거쳐야 극세선 제조가 가능하나, 기존의 주조법으로 제조한 주피상의 내부 및 표면결함 때문에 통상 수백 μ m 정도의 세선 인발중에 단선이 되어 버리기 때문에 수율면에서 매우 불리하거나 수십 μ m 이하의 극세선 가공이 불가능하다. 그러나 가열주형식 연속주조

법으로 제조된 주괴를 가공할 경우 압출공정이나 인발 및 열처리 공정이 대폭 생략되어 생산단가면에서 매우 유리할 뿐 아니라, 내부결함이나 표면결함이 없는 일방향응고 또는 단결정 조직의 주괴

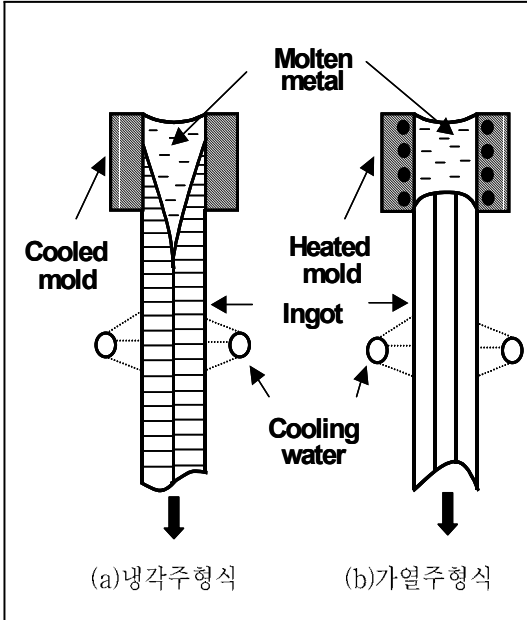


그림 1. 냉각주형식과 가열주형식 연속주조법의 원리 비교

표 1. 기존 주조법과 가열주형식 주조법의 특징 비교

		기존주조법	
주괴의 건전성	내부결함	내부에 기공, 수축공, 불순물편석이 다수	기공,
	표면결함	표면의 거침이 발생	표면·
주조조직		다결정체	일방·도 수
가공성		난가공성의 ingot(예 : 인칭동 등)은 압연, 선 인발 가공이 어려움	난가·처리 30μm
생산성		대량생산에 적합	소량
공정		공정 단계가 많음	공정
경제성		제조경비가 많이 듦	제조·
기술적 문제	용해주조	기술적으로 큰 문제가 없음	용탕·속도·
	가공	가공 step이 많아 가공조건에 어려움이 많음	가공·정하·

를 가공하기 때문에 단선이 거의 없어 수율이 매우 높은 제품을 만들 수 있다. 표 1은 기존의 냉각주형방식의 연속주조법과 가열주형방식의 연속주조법상의 주괴의 주조조직, 가공성, 경제성 및 기술적 문제를 비교하여 나타내었으며, 표 2는 Al-Si계를 예로 들어 가열주형방식의 연속주조법으로 30μm의 초극세선 bonding wire를 제조할 경우 예상되는 공정을 기존의 연속주조방식에 의한 통상적인 제조공정과 비교 한 것이다.^[11]

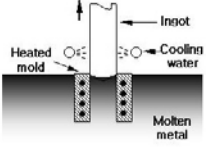
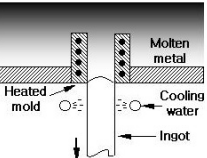
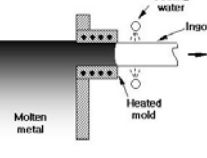
2.2. 가열주형식 연속주조의 종류

가열주형식 연속주조법은 크게 상향식, 하향식 및 수평식으로 나눌 수 있는데, 표 3은 가열주형식 연속주조법의 방식과 특징을 표시하였다. 가열주형식 연속주조는 통상의 연속주조법에서 1차 냉각에 상당하는 주형에서의 냉각은 전혀 일어나지 않고 오히려 주형으로 용탕을 가열하고 있기 때문에 응고는 전부 주형 출구 끝의 외부에 설치한 냉각장치에 의존할 수 밖에 없다. 따라서 주괴의 주조속도, 즉 용탕의 응고속도를 빠르게 하기 위해 냉각장치에서 조금이라도 냉각수 또는 수증기가 주형쪽으로 유출되면 이들이 가열주형의 출

표 2. 기존주조법과 가열주형식 연속주조법으로 주조된 주괴를 극세선으로 가공할 경우의 공정비교

기존주조법	가열주형식연속주조법	비 고
원 재 료	원 재 료	Al - 1% Si, Al - 15Cu, Au, Cu 등
용 해	용 해	재료의 순도 유지
주 조	주 조	재료의 균질성, 결함관리
압출 또는 Swaging		8-10mm \varnothing 까지 단면감소
중 선·세 선 신 선	태 선·중 선 신 선	8-10mm \varnothing \rightarrow 1-2mm \varnothing 단두신선기에 의해서도 가능
중 간 소 둔		
세 선 신 선	세 선 및 극세선신선	1-2mm \varnothing \rightarrow 50-70mm \varnothing
중 간 소 둔		
초 극 세 선 신 선	초 근 세 선 신 선	50-70mm \varnothing \rightarrow 20mm \varnothing
산 세	산 세	표면 청정도 관리
소 둔	소 둔	기계적 성질(강도, 연신율 등) 균질화 관리
권 선	권 선	
검 사	검 사	

표 3. 가열주형식 연속주조법의 종류와 특징

방 식	특 징
 <p>상향식</p>	<p>장점</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 주물의 치수제한이 없다. 2. 단락의 위험성이 없다. 3. 주조의 온도제어가 용이하다. <p>단점</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 주괴에 가스, 불순물이 혼입되기 쉽다. 2. 냉각수가 용탕내 또는 주형위에 낙하할 위험성이 있다.
 <p>하향식</p>	<p>장점</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 주괴에 가스, 불순물이 혼입 되지 않는다. 2. 균일한 냉각이 가능하다. 3. 주물의 치수제한이 없다. <p>단점</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 장치설계가 어렵다. 2. 단락의 위험성이 높다.
 <p>수평식</p>	<p>장점</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 장치 설계가 쉽다. 2. 주형의 온도제어가 쉽다. <p>단점</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 주조물의 치수제한이 있다. 2. 주괴에 가스, 불순물이 혼입되기 쉽다. 3. 냉각이 불균일하기 쉽다.

구 끝에 접촉하여 주형온도를 저하시키는 원인이 된다. 뿐만 아니라, 주형온도 저하에 의해 주형과 주괴가 고착되어 연속주조가 불가능하게 된다. 이러한 점 때문에 냉각수 또는 수증기가 주형쪽으로 유출되는 것을 완전히 방지할 수 있는 장치를 고안하여야 한다.

2.3. 가열주형식 수평연속주조

가열주형식 수평연속주조법은 그림 2와 같이 주괴를 수평방향으로 연속주조하는 방식으로서, 세선과 박판의 연속주조법에 적합한 것으로 알려져 있으며, 가열주형을 용해로 측벽의 용탕면 바로 아래에 수평으로 설치하여 주형출구 하단에

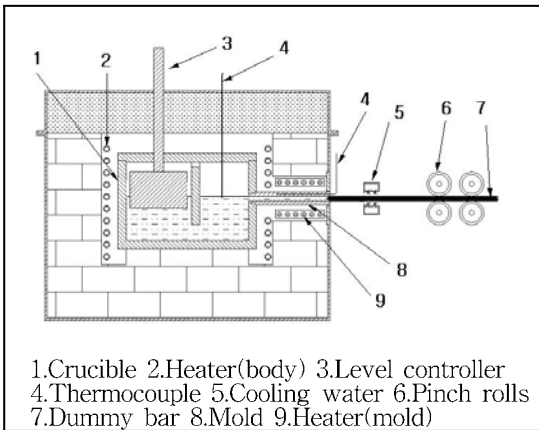


그림 2. 가열주형식 수평연속주조의 개략도

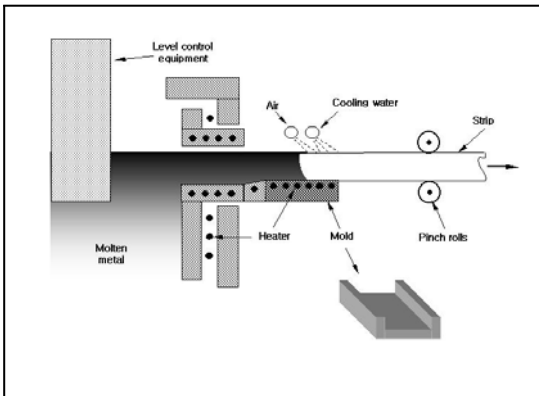


그림 3. OSC(Ohno Strip Casting) process의 개략도
걸리는 용탕압력을 낮게 함으로써 용탕의 단락을

억제하는 방식이다.

이 방식은 횡방향으로 용해로, 주형, 냉각장치, 주괴인출기 등이 배치되기 때문에, 장치설계가 간단하며 주조조건의 제어가 용이하다고 할 수 있다. 안정한 주조를 위해서 주형을 용탕의 응고온도이상으로 가열유지 할 수 있으며, 주형온도는 주형이 용해로로부터 떨어진 위치에 설치되어 있기 때문에 용해로 온도의 영향을 받지 않는다. 또, 주형의 발열체 용량을 조절하여 주형온도를 $\pm 2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 범위에서 유지할 수 있다. 냉각부에서는 주괴와 냉각수의 각도를 조절하여 주형으로의 냉각수의 유출을 방지할 수 있다. 따라서, 본 방법은 주형온도, 주조속도의 제어가 용이하며 주형출구에 가까운 위치에서 냉각수로 주괴를 직접 냉각할 수 있기 때문에 비교적 빠른 속도로 연속주조가 가능하다.

최근에는 가열주형식 수평연속주조를 개량하여 그림 3과 같은 OSC(Ohno Strip Casting) process를 개발하여 strip의 연속주조를 실용화하기 위한 연구개발이 진행되고 있다.^[12]

2.3.1. 세부장치 및 기능

가열주형식 수평연속주조 장치는 크게 용해로, 용탕면 조절장치, 가열주형, 냉각장치 및 인출장치로 구성되어 있다.

용해로

발열체와 복사열 방지벽, 그리고 철제외피 및 외피보호를 위한 수냉장치로 구성되어 있다. 도가니는 내열, 내마모성이 우수하고 가공성이 좋은 소재를 사용하는 것이 좋다.

용탕면 조절장치

소정 크기의 고순도 흑연봉을 용탕에 침지시켜 용탕의 탕면을 일정하게 유지시키기 위한 장치로, leveler의 상하운동을 위하여 상부에 모터를 설치하여 이동시키도록 한다. 용탕은 보통 주형의 상단부와 수평하게 일치되도록 하면 되나 산화개재

물이 용탕 위에 떠올라 주형에 유입되는 것을 막기 위해 탕면의 높이를 주형 상단부보다 약간 높게 유지시켜도 무방하다. 이와같이 용탕의 높이를 일정하게 유지시키는 것은 가열주형 수평식 연속주조법에서 가장 필수적이고 까다로운 작업중의 하나이고, 용탕면이 일정하게 유지되지 않을 경우에는 주괴직경의 변화나 용탕의 단락을 유발시킬 수 있다.

주형

가열주형 연속주조법의 명칭에서도 알 수 있듯이, 이 부분은 가열주형 연속주조법의 가장 특징적인 부분이다. 도가니의 용탕은 용탕면 조절장치에 의해 가열주형내에 흘러 들어오게 된다. 이때 주형은 흘러 들어온 용탕이 응고되지 않도록 적절한 발열체를 사용하여 가열된다. 이 주형은 통상 고순도 흑연이 사용되나, 이 경우 주형 끝단에서의 산화 및 마모가 심하여, 이로 인한 주괴 표면불량의 원인을 제거하기 위해서는 주형을 자주 교체해야 되는 문제점이 있으므로, 대기중 산화 및 마모에 대한 저항이 큰 재료를 사용하면 좋다.

냉각장치

용탕은 dummy bar에 부착되어 가열주형 외부 수mm 거리까지 표면장력에 의해 액상으로 유지된다. 이때 고·액 계면은 냉각수로 분무하거나 또는 냉각효과를 높이기 위해 냉각수가 순환되는 욕조에 통과시켜 응고시킨다. 이때 냉각수가 주형 끝단 쪽 가까이에 비산되거나 또는 주형내로 흘러 들어가는 경우 표면이 거친 주괴가 얻어질 수 있기 때문에 장치설계나 작업에 주의를 요한다.

인출장치

Dummy bar 끝단에서 응고된 소재는 인출장치를 이용하여 수평으로 인출함으로써 연속적으로 일방향 또는 단결정 응고재의 제조가 가능하다. 이때 인출장치는 dummy bar 또는 응고된 주괴

자체가 진동을 받지 않고 조용한 상태에서 주형과 완전히 수평으로 일치되어 인출되도록 하는 것이 필요하고 진동이 있거나 수평이 유지되지 못하면 주괴표면에 심한 굴곡이 발생되거나 단락이 발생하게 된다.

Dummy bar

Dummy bar는 주형내의 용탕을 그 한쪽 끝단에 응고 부착시켜 인출하기 위해 사용되는 것으로, 주조금속의 용융점보다 높은 용융점을 갖는 재료이면 주괴 제조조건 및 품질이 dummy bar의 재질에 영향을 받지 않으며, 일례로 Al 봉을 제조하는 경우, Cu 및 스테인레스 봉 등이 dummy bar로 사용될 수 있다. Dummy bar 끝단 역시 주괴의 품질이나 제조조건에 큰 영향을 미치지 않으며, 일반적으로 용탕의 부착이 용이하게 제작된다.

온도측정 및 조절장치

가열주형 연속주조법은 도가니에서의 용탕온도, 주형의 가열온도를 정밀하게 유지·관리하는 것이 절대적으로 필요하다. 그 이유는 가열주형을 거쳐 인출되는 용탕의 온도는 이 두가지에 의해 크게 영향을 받기 때문이고, 또한 이 용탕의 온도는 다른 제조변수와 밀접하게 관련이 있기 때문이다.

2.3.2. 제조변수

제조된 주괴는 주괴의 주조변수의 조건에 따라 surface tearing, mirror surface 또는 단락이 발생된다. Surface tearing은 인출속도에 비해 상대적으로 냉각수량이 과다한 경우 발생하고, 단락은 그 반대로 냉각수량에 비해 인출속도가 큰 경우 발생된다. 단락은 주괴제조시 연속적인 제조를 불가능하게 하고, surface tearing은 주괴표면에 심한 scratch로 인해 인발공정 등에서 악영향을 미친다. 그러나 적정한 주조조건에서 주괴가 제조될

때는 mirror surface를 가진 주괴를 얻을 수 있으며, 이러한 주괴의 단면의 조직을 보면 잘 성장된 일방향 또는 경우에 따라서 단결정이 생성되는 것을 알 수 있다. 이러한 경면의 표면을 가진 양질의 주괴를 제조하기 위해서는 용해로에서의 용탕온도, 주형가열온도, 주괴직경, 냉각수량, 냉각거리 및 주조속도 등을 고려해야 하며, 이들 변수와 주조속도와의 관계를 보면 표 4와 같다.

주조속도에 미치는 제조변수와의 관계를 살펴보면, 보다 빠른 주조속도 하에서 경면주괴를 얻기 위해서는 용탕온도 및 주형온도는 낮게 하고, 냉각수량은 크게, 냉각거리는 짧게 하고, 주괴직경은 작게 함을 알 수 있다.

상기에서는 단순히 일방향 응고조직을 가진 경면 주괴를 얻을 수 있는 주조속도 및 그 제조변수와의 관계를 언급하였는데, 같은 경면의 주괴라도 주조속도에 따라서는 그 품질이 다를 수 있다. 즉, 같은 표면을 갖는 주괴일지라도 주조속도가

(striation)가 발생된다. 이 striation은 주조속도가 증가함에 따라 쌍정결정이 성장하게 됨으로써 발생하는 일종의 결함이다. 이러한 striation의 발생은 고순도 금속일수록 쉽게 일어나 striation의 발생이 극세선 등 주괴의 최종 제품에 직접적으로 치명적인 영향을 미친다고 보고된 적은 없다. 다만, striation 발생량이 증가할수록 재결정 발생이 쉽게 일어나 재결정온도를 떨어뜨리는 정도만이 알려져 있다.^[13] 이러한 striation이 주괴의 최종 제품과 그 제조과정에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서는 계속 연구할 필요가 있다.

2.3.3. 제조된 주괴의 특성

- 1) 임의의 단면형상의 경면주괴가 얻어진다.
- 주형벽면이 응고온도 이상으로 유지되기 때문에 주괴의 응고는 주형벽면을 나와서 주형내에서 주형선단이 돌출하는 형으로 진행된다. 이 때문에

표 4. 주조속도와 제조변수와의 관계

case I		
고정변수	변수	변수와 주조속도와의 관계
주괴직경 용탕온도 냉각거리 냉각수량	주형온도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상호반비례관계 ○ 주형온도가 낮을수록 mirror surface를 얻을 수 있는 인출속도는 빨라지며, 그 범위 또한 커진다.
case II		
고정변수	변수	변수와 주조속도와의 관계
주괴직경 용탕온도 냉각거리 주형온도	냉각수량	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상호반비례관계 ○ 냉각수량이 많을수록 mirror surface를 얻을 수 있는 인출속도는 빨라지며, 그 범위 또한 커진다.
case III		
고정변수	변수	변수와 주조속도와의 관계
주괴직경 용탕온도 주형온도 냉각수량	냉각거리	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상호반비례관계 ○ 냉각거리가 멀어질수록 mirror surface를 얻을 수 있는 인출속도가 느려지며, 인출속도의 범위도 좁아진다.
case IV		
고정변수	변수	변수와 주조속도와의 관계
주형온도 용탕온도 냉각거리 냉각수량	주괴직경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상호반비례관계 ○ 주괴직경이 작을수록 mirror surface를 얻을 수 있는 인출속도는 빨라지며, 그 범위 또한 커진다.

크게 되면 내부에 인출방향과 수평으로 줄무늬 주형에서 나오는 주괴표면은 얇은 자유표면의 상

태에서 응고하게 된다. 따라서 주괴의 표면은 경면과 같이 미려하게 되며, 주형내벽면과의 마찰이 없기 때문에 주형내에서 용탕이 유동하게 되고, 소경이나 얇은 두께의 경면주괴를 만들 수 있으며, 그림 4와 같이 기존의 압출, 인발법으로 제조하기 어려운 복잡단면 형상의 관의 제조가 가능하다.^[14]

2) 경면의 주괴가 얻어진다.

주형내벽면이 응고온도 이상으로 유지되기 때문에 주괴의 응고는 주형벽면을 나와서 주형내에서 주괴선단이 돌출하는 형으로 진행된다. 이 때문에 주형에서 나오는 주괴표면은 얇은 액막으로 덮여진 상태로 되기 때문에 이 액막은 자유표면의 상태에서 응고하게 된다. 따라서 주괴의 표면은 경면과 같이 미려하게 된다.

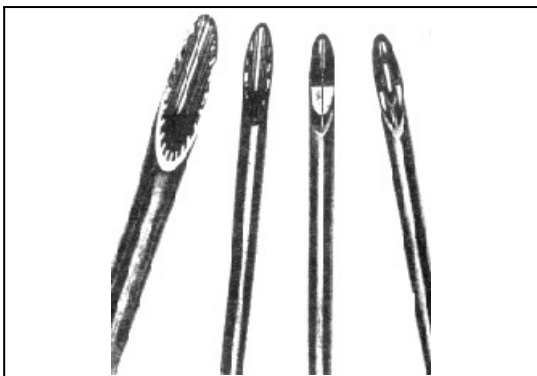


그림 4. 가열주형식 연속주조법에 의한 복잡단면 형상관

3) 단결정재가 쉽게 얻어진다.

주조시 dummy의 끝부분에 생성된 결정은 성장에 있어서 우선성장 방위가 주조방향에 일치하는 것은 남아 있고 다른 결정은 차츰 소멸하여 단결정으로 되며, 그 형성과정을 그림 5에 나타내었다. 이와 같이 주조에 있어서는 결정성장의 기원이 되는 주형이 응고온도 이상에서 가열되기 때문에 응고진행중에 새로운 결정이 핵생성되는 기회가 주어지지 않으며, 이로 인해 결정은 경쟁성장에 의해 자연히 단결정으로 되는 것을 얻을

수 있다. 이와 같은 경쟁성장은 주괴의 직경이 작은 쪽이 빨리 완료하고 단결정으로 되기 쉽다. 이와 같이 얻어진 Al 및 Cu단결정선은 오디오, 비디오용 signal cable로 이용되고 있다. 그림 6은 미국 Audioquest사의 interconnect cable 이다.

4) 중심편석이나 porosity가 없는 주괴가 얻어진다.

가열주형식 연속주조법은 완전한 일방향응고로 진행되기 때문에 주괴는 용질농화액이 주괴의 중심부에 포착되지 않고 응고가 가능하며, 주괴의 온도와 주괴의 냉각, 주괴의 인출속도를 적절히 제어함으로써 응고계면의 형상을凸상으로 하는 것이 용이하므로, 주괴내에 가스나 불순물을 함유하지 않고 주조할 수 있다.

5) 냉간가공성이 우수한 주괴가 얻어진다.

주괴는 완전한 일방향 응고조직의 경면주괴를 얻기 위하여 압연이나 인발과 같이 소성가공을 실시하여도 표면으로부터 균열이 발생할 위험성이 없다. 그러므로 주괴의 표면연마공정 없이 그대로 압연이나 인발을 할 수 있다. 또한, 가공성이 어려운 재료로 알려진 인칭동의 두께 5mm의 slab를 중간소둔 없이 100 μ m까지 균열없이 압연가공할 수 있으며, 또한 기존에 취성이 있어 가공불가능하던 Sn-30wt%Zn 합금도 4mm의 주괴선으로부터 인발가공에 의하여 100 μ m 직경의 선까지 중간소둔 없이 가공할 수 있다.

3. 전 망

일반적으로 금속소재는 용해→주조→열간·냉간가공→열처리→후처리라는 여러가지 복잡한 단계를 거쳐서 제조되지만, 연속주조법을 사용할 경우에는 용융금속으로부터 곧바로 최종 제품의 형상에 가깝거나, 최종 형상으로 제품을 생산할 수 있어, 열간·냉간가공 등의 공정을 간략화 할 수 있다. 또한, 중간공정의 간소화에 따른 설비비의 절감, 주조수율의 향상이라는 경제적인 이점 외에

도 비교적 표면상태가 양호하고, 내부품질이 우수한 주물을 제조할 수 있다는 이점도 동시에 취할 수 있다. 또한, 전기·전자산업 등의 소형, 고기능 정밀부품 소재에 이용되는 알루미늄 세선은 원소재 제조부터 신선가공까지 복합적이고 정밀한 공정제어기술을 요구한다. 그러나, 국내에서는 가공이 어렵고 수요가 제한되어 있어, 고강도·고기능성 전자부품용 세선의 제조공정기술이 확보되어 있지 못하고, 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이며, 전세계적으로도 이러한 소재를 생산하고 있는 국가는 일본, 미국, 독일 등 선진국에 지나지 않는다. 이처럼 특수 합금선의 제조기술이 까다로운 이유는 원소재의 제조기술에서부터 신선가공에 이르기까지의 각 제조공정이 매우 엄격하고 까다롭기 때문이다. 국내에서는 bonding wire용 소재를 개발하기 위해 Al합금 및 Cu합금을 대상으로 생기원, 경상대, 충북대 등에서 연구가 수행되었으나, 공업적으로 실용화되고 있는 경우는 거의 없는 상태이다. 가열주형 연속주조법에 의해 생산될 수 있는 응용분야는 Cu합금, Al합금을 비롯하여 stellite, Ni합금, Mg합금, stainless steel 등 그 범위가 매우 넓으며, 이들 분야에서도 특히, Cu합금과 Al합금은 그 산업수요가 매우 크다. 따라서 가열주형식 수평연속주조를 이용한 제조공정기술 개발을 통해 일방향 또는 단결정 주괴의 국산화 및 실용화에 성공할 경우 그 파급효과는 상당히 클 것으로 기대된다.

4. 결 론

가열주형식 연속주조법은 기존의 냉각주형 방식에 비해서 최적 주조조건을 확립하는 데는 어려움이 있지만 주괴의 내부 및 표면결함이 없고, 또한 기존의 crystal pulling법이나 Chzorski법 등에 비해서 비교적 자유로운 형상의 단결정 또는 일방향 고급응고재를 연속으로 제조할 수 있으며, 연속주조에 의한 선재 및 세선제조공정기술은 기

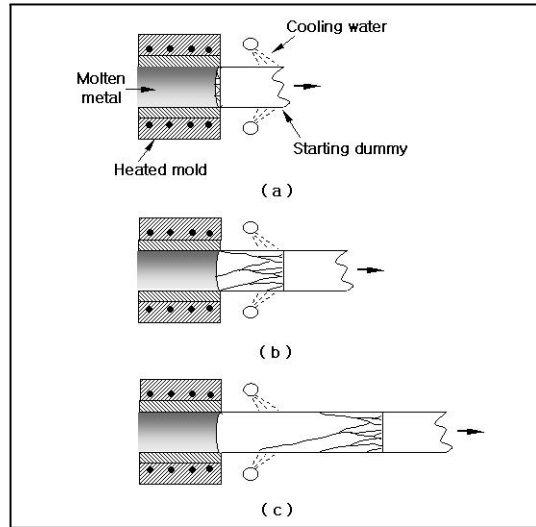


그림 5. 단결정 형성과정 (a)응고초기 (b)불안정응고 상태 (c)안정상태

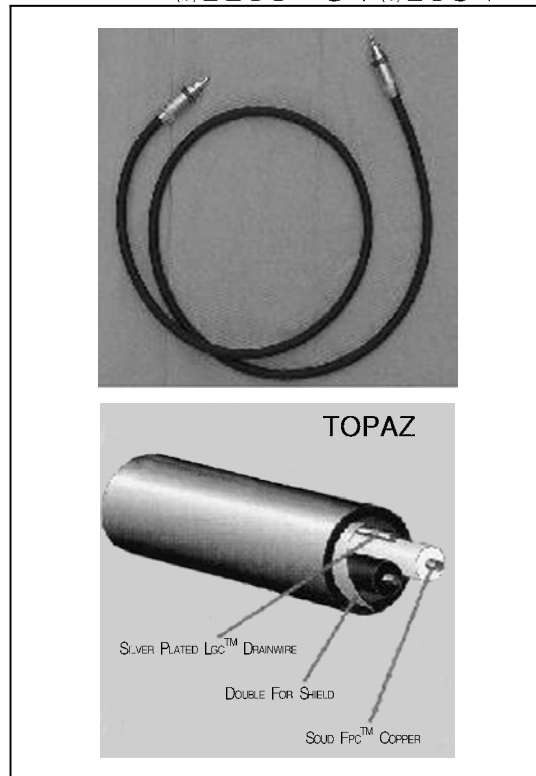


그림 6. 미국 Audioquest사의 interconnect cable

존의 제조기술이 billet을 다단계 신선하는 복잡한 방법인데 비해 원가가 절감될 뿐만 아니라, 선재 내부의 미세조직을 원활히 조절할 수 있어 체계

화된 가공공정에 의해 선재로부터 세선의 제조가 가능한 선진기술이다. 이런 점에서 금후, IC 및 VLSI lead frame, bonding wire, magnetic wire, audio 및 video cable, solder재 등 전자기기 및 음향기기용 고급소재로 응용될 수 있으며, 우수한 가공성을 이용하여 기타 초극세선 및 초박막 제조에도 적용이 가능할 것이며, 국내의 기술수요가 점증되는 추세이다. 가공이 힘든 난가공성 소재의 가공과 결정입계에서의 부식의 위험이 없는 내식성이 우수한 단결정 합금관 제조 등에도 적용할 수 있으므로, 방향성이 필요한 자성재료 및 공정 복합재 제조법으로도 이용 가능할 것이다.

따라서, 이 분야에서 국내에서는 아직 연구가 미약하므로 국내 생산기술의 정착과 여러 산업분야에 적용 및 응용을 위하여 많은 연구와 기술개발 투자가 지속되어 선진국과의 기술격차를 해소하는데 다각적인 노력이 진지하게 강구되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] W.Schneider and E.Lossack : Light Metals. Trans. AIME (1987) 763
- [2] J.P.Faunce, F.E.Wagstaff and H.Shaw : Light Metals. Trans. AIME (1984) 1145
- [3] V.I.Dobatkin and G.A.Balakhontsev : NTIS Report, AD759230(in English) 1973
- [4] D.G.Goodrich and J.L.Dassel : Light Metals. Trans. AIME (1982) 781
- [5] H.A.Mayer, G.B.Leconte and A.M.Odok : Light Metals. Trans. AIME (1977) 223
- [6] 大野篤美 : 日本金屬學會會報, 23 (1984) 773
- [7] A.Ohno : Journal of Metals, 38 (1986) 14
- [8] Japan Pat No 60-248833 (1985. 12)
- [9] Japan Pat No 62-134144 (1987. 6)
- [10] Japan Pat No 63-33164 (1988. 2)
- [11] 조형호 : 가열식 연속주조법에 의한 전자재료용 알루미늄 소재부품개발, (1992) 상공부
- [12] A.Ohno : USA Pat No 5074353 Dec. 1991
- [13] 이유재, 조형호, 김명한 : 대한금속학회지, 31 (1993) 906
- [14] 大野篤美, 本保元次郎 : 實用新案出願番號 昭 61, 87642