

분말야금기술의 최근 동향과 전망

목 차

1. 서 론
2. 본 론
 - 2.1. 분말 단조
 - 2.2. 분말 압연
 - 2.3. 금속 사출 성형
 - 2.4. HIPing
 - 2.5. Hot Extrusion
 - 2.6. 급랭응고기술
 - 2.7. Mechanical Alloying
3. 결론 및 산업화 전망

1. 서 론

분말야금기술은 분말상태의 금속재료를 제조하는 분말제조분야와 이들 분말재료를 가공하여 부품 또는 소재를 제조하는 분말가공분야로 대별된다.

분말야금기술의 응용범위는 모든 산업분야와 관련되어 있어서 국내에서도 주요생산기술로 부각되고 있다. 종래 범용 소재에서부터 미래산업사회의 총아로 각광받게 될 신소재에 이르기까지 적용재료의 범위도 광범위하다.

예를 들면 산화물 고온초전도체의 선재 제조공정에 응용되고 있는 경우나 뛰어난 자기적 특성을 가진 Nd-Fe-B계 영구자석 제조에 응용되는 경우가 대표적인 예이다.

본 고에서는 근년 국내에 도입되어 개발이 진행되고 있는 부품 및 소재제조 기술과 최근 선진국에서 활발한 연구가 진행되고 있는 신소재제조기술의 현황과 전망에 대해 간략히 언급하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 분말단조

분말단조는 일반분말야금부품에서 기계적 강도에 치명적인 악영향을 미치는 기공도를 감소시키거나 거의 이론밀도에 가까운 부품을 제조하기 위해, 금속분말로 제조한 미소결, 예비소결 또는 소결 예비형을 단조에 의해 형상화를 수반하여 고온에서 치밀화시키는 공정으로 그림 1에 대표적인 분말단조공정 예를 나타내었다.

이 강 료

(제조야금실 선임연구원)

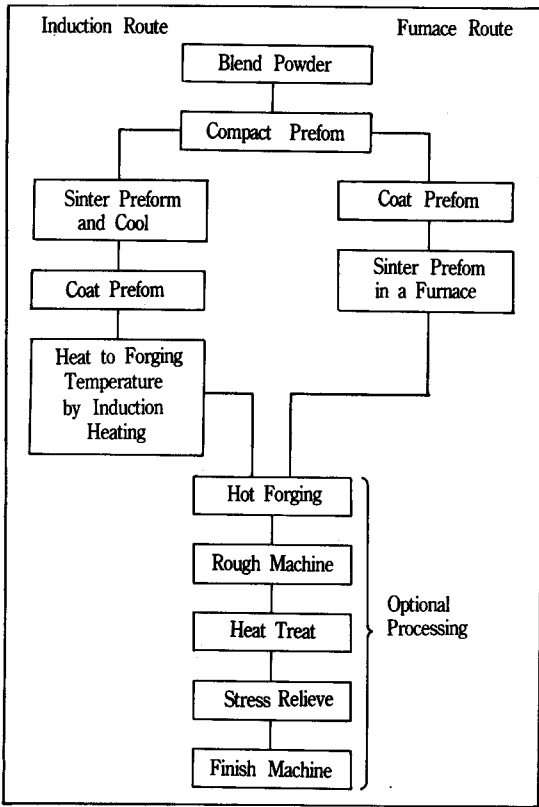


그림 1) 분말단조 공정도

이와 같이 분말단조는 다공질분말야금 제품의 강도에 대한 취약점을 보완하기 위한 효과적인 방법으로써 이 방법에 의해 제조되는 제품의 세계시장 규모가 연간 20,000톤에 달하고 있다.

◎분말단조 기술의 적용부품

분말단조기술은 주로 변속기, 엔진 및 Differential용 부품과 같은 자동차 부품개발에 주로 적용된다. 현재 상업적으로 생산 및 적용되고 있는 분말단조 부품은 다음과 같다.

- 자동차 엔진용 Connecting Rod
- 자동차 변속기용 Stator Cam
- Tapered Roller Bearing용 Race
- 자동차 엔진용 Valve Seat
- 자동차용 각종 Gear
- Torque Converter Clutch Hub
- Chainsaw Sprocket
- Hand Wrench 등

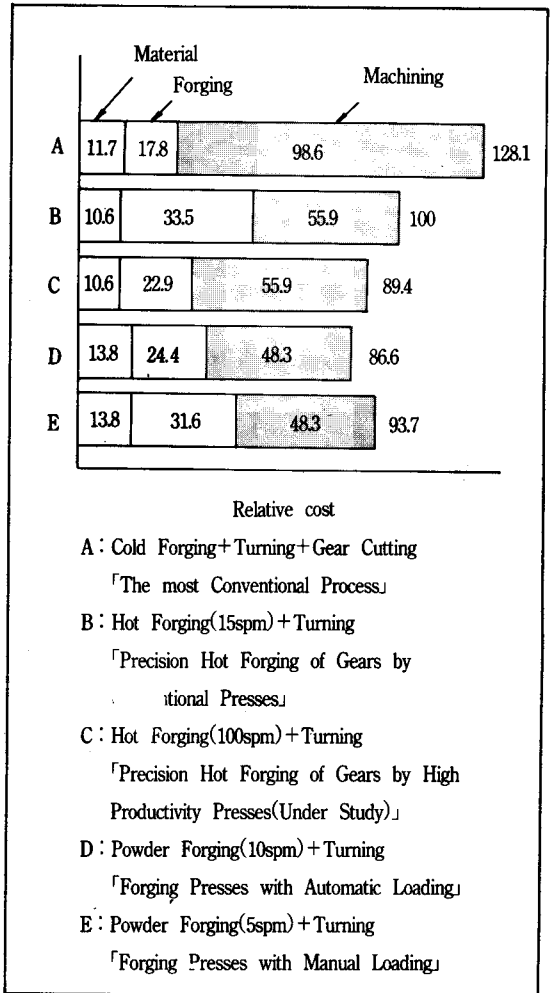


그림 2) Differential Pinion의 생산시 가격구조 비교

◎분말단조기술의 경제성

그림 2는 분말단조기술의 경제성을 경쟁기술과 비교하기 위해 Differential Pinion의 생산가격을 공정별로 나타낸 것으로, 분말단조 공정이 다른 공정에 비해 값싼 방법임을 알 수 있다. 따라서 품목선정과 제조공정을 합리화할 경우, 우수한 기계적 특성을 갖는 부품을 경제적으로 상업화할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2. 분말압연

분말압연공정은 적합한 조성과 특성을 가진 분말을 압연 Roll사이로 공급하여 압연력에 의해

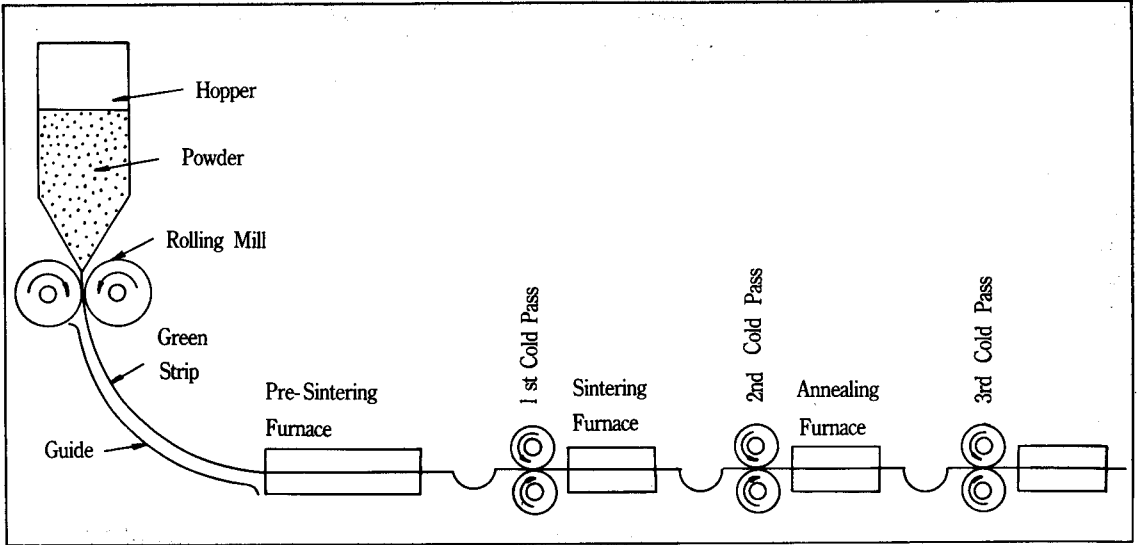


그림 3) 분말압연에 의한 판재생산공정의 예

지속적으로 판재를 성형하고, 성형된 분말판재를 소결, 균질화, 압연, 열처리 등의 후 공정을 거쳐 원하는 특성의 판재로 생산하는 공정이다.

이 공정은 기존의 Ingot Melting공정에 의한 판재생산 방법에 비해 설비 및 공정이 간단하고 조성 및 특성조질이 용이하며 균일하고 우수한 특성의 고합금 판재를 생산할 수 있는 장점이 있으나, 후판의 생산이나 대량, 연속생산에는 기술적인 어려움이 크고 또한 원료분말이 상대적

으로 고가인 관계로 고가의 특수합금의 박판 생산에 일반적으로 유리하다. 그림 3은 분말압연에 의한 판재 생산공정 중에서 대표적인 예를 나타낸 것이다.

◎분말압연에 의한 판재의 응용분야

분말압연기술은 분말의 혼합공정에서 합금성분을 임의의 비율로 혼합하여 각종 판상의 특수합금을 생산하는데 널리 응용되고 있다. 표 1은

표 1) 분말압연에 의한 판재의 응용분야

구 분	재 질	특 성	용 도
다공질 재료	Stainless Steel	기공률 10-75%	Filter
	Carbonyl Ni		전극봉, Ni-Cd 축전지기관
전자 재료	Fe-Ni 계	열팽창률 Controllable	Thermostat Alloy
		자기특성 Controllable	Lead Frame Alloy
	Cu계	고강도 전기 전도성	Glass Sealing Alloy 자기 재료
	고강도 합금	고강도	각종 전기 접점 재료
특수 용도	U+Al+X		각종 공작기계의 절삭공구 Tip
재 료	Ra+Al+X		원자료의 연료
	마찰 재료		Brake Band, Brake Disk

판재의 응용분야를 대체적으로 분류한 것이다. 표 1에서 예시한 분야 외에도 캐나다의 Sheritt-Gorden사에서는 Ni분말을 압연하여 Ni 주화 생산용 소재를 생산하고 있다.

영국의 BSC에서는 연간 5만톤 정도의 판재 생산능력을 갖고 있으며 Stainless Steel 판재를 생산하고 있다. 또한, 미국 Pfizer사에서는 Fe-Ni계 Lead Frame소재를 비롯한 각종 특수전자기기 소재를 생산·판매하고 있으며, Imperial Clevite 사에서는 Al계 복합베어링재료를 생산하는 등, 여러분야에서 실용화 되고 있다.

2.3. 금속사출성형

종래의 분말야금법은 양산성이 우수하지만 복잡한 형상의 부품에 대응하기 어려우며 Die-Casting법은 원료로 Al합금이나 Zn합금등의 저용점 금속 밖에 사용할 수 없고 Lost-Wax법은 양산성에서 뒤떨어진다. 이러한 종래법의 결점을 보충하는 형태로 등장한 것이 금속사출성형법이다.

금속분말에 Binder를 혼합하여 사출성형하고 탈지·소결하여 제품으로 완성하기 때문에 기계가공을 하지 않고 소형 복잡형상 부품을 정도 높게 성형할 수 있다 (그림 4). 기본적으로 플라스틱의 사출성형과 같아서 부품형상의 제약이 없어지며, 양산과 대폭의 원가절감을 할 수 있다. 입경 10 μm정도의 미분말을 사용하기 때문에 소결 후의 상대밀도가 증가하고 강도·연신을 등의 기계적 성질이 향상되는 특징도 있다.

◎ 금속사출 성형기술의 적용부품 및 시장성

금속사출성형기술을 적용한 부품생산 및 연구개발은 미국·일본을 중심으로 관련업체 및 연구소에서 활발하게 이루어지고 있다. 적용 대상 부품은 정밀기계부품, 내마모성이 요구되는 기계 부품, 전자기부품, 자동차부품, OA기기, 의약품, 장식품 등 매우 다양하며 사용되는 원료분말도 Stainless steel을 비롯하여 순 Fe, Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Si, 고속도공구강, 초경합금, Ti등 매우 광범위하다.

현재 생산중인 부품으로는 손목시계용 Band,

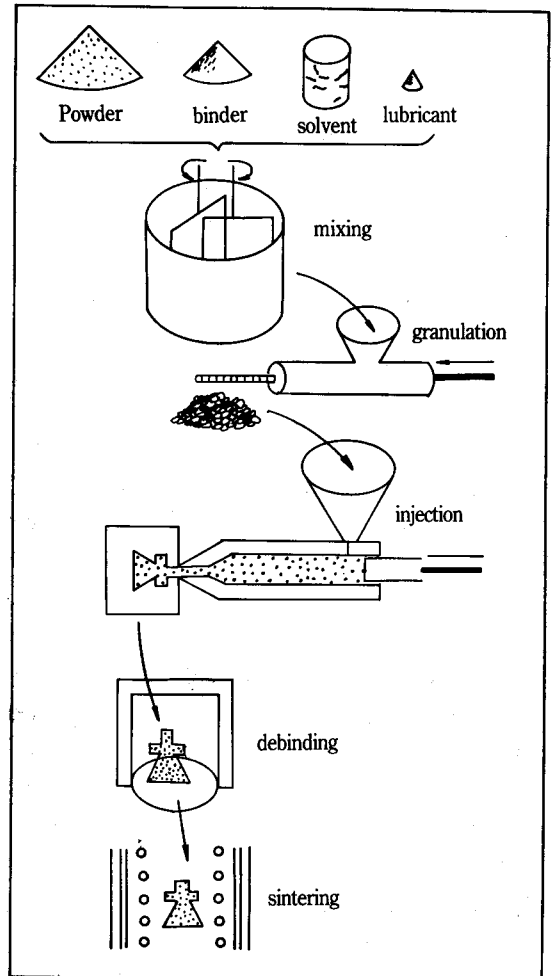


그림 4) 금속분말 사출성형 공정도

Projectile Fin, 디젤엔진 Carburetor의 Stainer, Lock-Machine용 Needle, 자동차용 Sequence Lam Stopper, Hobby용 기계의 Select Switch 손잡이 등을 들 수 있다.

한편, 미국 Gorham사는 금속사출성형품의 세계시장을 '95년에는 1~5억달러, 2000년에는 20~30억 달러가 될 것으로 예측하고 있다. 일본내 업체의 예측으로도 '95년에 세계시장이 400~800억엔, 일본내 시장이 50억엔, 2000년에 세계시장이 300억엔, 일본내 시장이 30억엔 등 다양한 숫자를 가리키고 있다. 이와 같은 거대한 시장을 목표로 하여 일본의 경우에는 분말야금관련업체의 참여가 잇따르고 있고, 계획중인 곳도 포함하면 현재 200사

가까이에 이른다고 한다.

2.4. HIPing

열간등압성형 (Hot Isostatic Pressing)은 분말을 일정한 온도로 가열시키고 동시에 높은 등압을 가하여 성형시키는 방법이다. 성형온도는 AI분말의 경우, 약 480°C부터 W분말의 경우, 약 1,700°C까지이며 성형압력은 20~300MPa 범위에서 다양하게 선택할 수 있다.

소결체는 직접 성형이 가능하나 분말의 경우는 그 자체로 성형할 수 없으므로 Can속에 분말을 넣고 Degassing하여 Can을 밀폐시킨후, HIP의 압력용기 내에서 성형된다. 압력용기 내부는 진공펌프로 Evacuation 시킨 후, 압력매체로서 Ar가스 또는 N₂-Base 혼합가스가 충전되며, 성형온도까지의 가열 및 냉각은 노내부 재료에 열충격이 가해지지 않도록 속도를 조절하는 것이 바람직하다. 이 방법은 성형재 내부에 편석이 없고, 조직이 균일하고 미세하며, 단조나 압출이 곤란한 재료의 성형이 가능하고, 큰 부피의 분말도 Near-Net Shape로 성형할 수 있는 장점이 있다.

HIPing에 의해 제조되고 있는 부품 및 소재로는 Superalloy를 중심으로한 항공기용 엔진 부품과 Be, Ti, 초경합금, 공구강등을 들 수 있으며, 중간소재 또는 Near-Net Shape로 성형된 최종제품이 제조되고 있다.

2.5. Hot Extrusion

열간에서 분말을 압출하여 성형체를 얻는 Hot Extrusion법은 Hot Compacting과 Hot Mechanical Working을 혼합한 방법으로서 단일공정에 의해 이룬밀도까지의 성형이 가능하다. 이 방법은 HIPing법보다 낮은 성형온도에서 완전치밀화가 가능하므로 분말을 성형하였을 경우, 우수한 기계적 성질을 나타낼 뿐만 아니라 대량생산에도 유리한 장점이 있다.

분말을 열간압출하는 방법은 그림 5에서와 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 즉, 분말을 압출용기에 넣어 직접압출하는 방법, 냉간성형과 소결

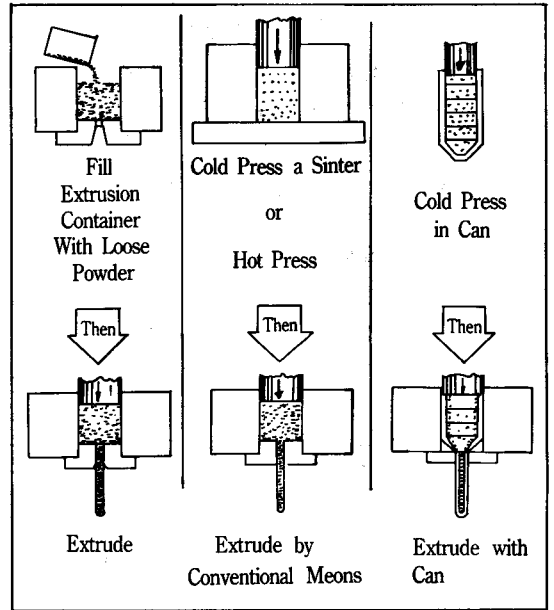


그림 5) Hot Extrusion에 의한 분말성형

후 압출하는 방법, Can에 분말을 충전시켜 냉간 성형한 후 압출하는 방법이 대표적인 방법이다. 그러나 압출재 내부에 기공을 제거하고 산화를 방지하기 위해서는 Canning, Degassing 및 Ar 용접등의 공정을 거쳐 압출하는 것이 가장 바람직하다. Hot Extrusion법은 주로 중간소재를 대량으로 생산하는데 적용되고 있으며 대상소재로는 Al, Mg 및 Pb합금, Be, Glidcop, 분산강화형 Mg및 Al합금, 분산강화형 Superalloy, SAP등을 들 수 있다.

2.6. 급랭응고기술

급랭응고기술(Rapid Solidification Technology: RST)은 용융상태의 합금 또는 금속을 열전도도가 큰 매체를 통하여 10°C/S 이상의 빠른 속도로 냉각시킴으로써 비평형상의 재료를 얻는 기술이다. 이러한 급랭응고에 의해 얻을 수 있는 효과로는 매우 미세한 조직과 편석이 없는 균일한 조직을 얻을 수 있으며, 용질원소의 용해한도증가와 함께 상태도상에 나타나지 않는 새로운 비평형상을 얻을 수 있고, 결정구조가 없는 비정질조직을 얻을 수 있는 것 등을 들 수 있다.

실제로 미세한 조직을 갖는 급랭응고 재료는

상온에서의 강도 및 내마모성이 우수하며, 고온 특성이 뛰어나 날 뿐만 아니라 초소성과 전자기적 성질이 우수한 특징이 있다. 따라서 여러 용도의 신소재와 고기능 및 구조재의 개발에 급랭응고 기술이 광범위하게 활용되고 있다.

◎ 급랭응고 분말제조

급랭응고 분말을 제조하는 방법에는 열전도도가 큰 Ar, He가스를 이용하는 Gas Atomization 및 초음파가스분무법, Melt Spinning으로 얻어진 리본을 분쇄하여 분말로 제조하는 방법, Ar 또는 He 가스분위기에서 원심력으로 용융금속을 분무

하는 Centrifugal Atomization 등을 들 수 있으며 그림 6에 이들에 대한 개략도를 나타내었다.

◎ 급랭응고분말의 성형

일반 분말야금기술은 냉간성형과 소결과정을 거쳐 최종제품이 얻어지나, 급랭응고분말의 경우에는 소결에 의해 미세조직이 조대화되고 비평형상이 안정한 평형상으로 바뀌므로 급랭응고 특유의 성질을 보유시키기 위해서는 소결온도보다 낮은 온도에서 성형이 가능한 HIPing, Hot Extrusion, Hot Pressing, CIPing 후 Hot Working, Dynamic Compaction 등의 성형법을 이용해야 한다. 이들 방법 중 많이 쓰이는 방법은 분말을 강하게 결합시킬 수 있는 HIPing과 Hot Extrusion이다.

◎ 응용 및 산업화 분야

- 고온내마모 재료 : 미국 Allied Signal사의 Ni-Mo-B계 Devitrium 합금, Marko사의 Fe와 Ni계의 Markomet 합금 등은 고온내마모금형, Aluminum Die Casting Insert, 절삭공구용 소재로 이미 상품화 되어 있다.

- 항공기 재료 : 현재 Al-Fe-Zr, Al-Fe-Ti, Al-Fe-Mo, Al-Fe-V, Al-Fe-Ce, Al-Fe-Si-V 등의 Al-Fe계 합금이 연구되고 있으며, 최근에는 비행체의 경량화를 위해 Al-Li에 관한 연구도 활발한 연구가 진행되고 있다. 또한 엔진의 효율향상과 경량화를 위해 Ti-Aluminide와 Ni-Aluminide 등이 연구되고 있다.

- 희토류계 영구자석 소재 : 원료가가 고가이며 제조법이 까다로운 Sm-Co 합금을 대체하기 위해 미국 GM사에서 개발된 Nd-Fe-B계 영구자석 소재는 대량생산과 원가절감을 위해, Melt Spinning으로 리본을 제조한 후 분쇄하여 분말을 만들고, 이를 Hot Pressing, Hot Extrusion, Binder에 의한 접합 등의 방법으로 성형체를 생산하고 있다.

이 외에도 급랭응고기술에 의해 제조되는 신소재는 초소성재료, 수소저장합금, 형상기억합금, 내식재료 등 광범위하므로 이를 적용한 고부가가치 제품생산이 가능할 것으로 전망된다.

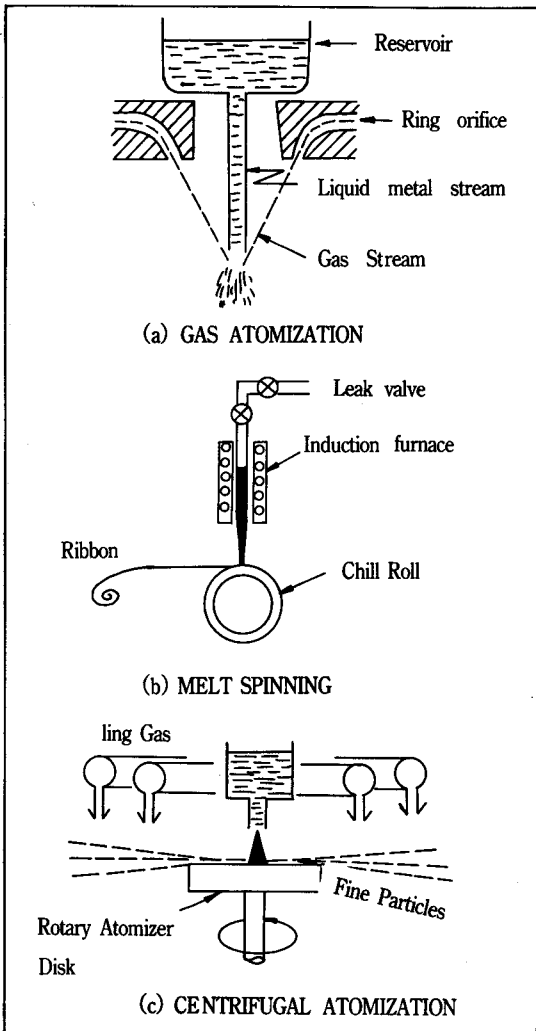


그림 6) 분말제조기술별 개략도

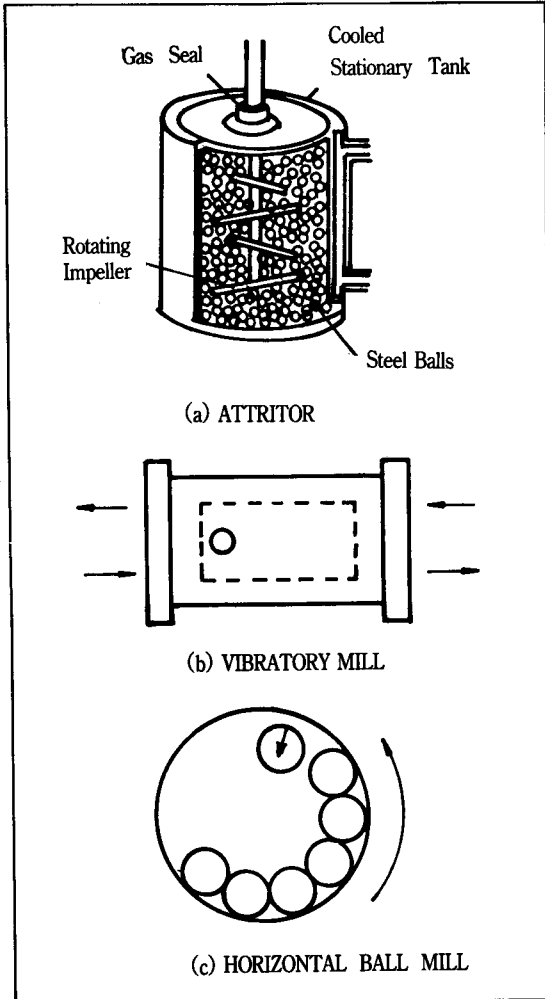


그림 7) Mechanical Alloying 장비

2.7. Mechanical Alloying

Mechanical Alloying(MA)은 금속 혹은 세라믹 분말을 높은 기계적 에너지의 Ball Milling을 통하여 미세조직이 제어된 특수분말을 얻는 공정을 말한다. 이공정은 1960년대 말 산화물 분산강화 Superalloy(ODS Superalloy)를 개발하기 위해 고안되었으며, 70년대의 집중적인 연구개발단계를 거쳐 80년대에 이르러는 항공기 제트엔진에 일부 상업화가 이루어졌고, 1988년 현재 MA제품 생산량이 15,000톤을 상회하고 있다.

MA에 사용되는 High-Energy Mill로서는 Attritor

Mill, Planetary Mill, Vibratory Mill 및 기존의 수평식 Ball Mill이 있으며 (그림7) 이들 Mill은 각각의 장단점을 갖고 있다. 이러한 Mill에 의해 분말이 합금화 되는 과정은 피로파괴, 취성파괴에 의한 분말파쇄와 냉간압접의 반복으로 이루어지며 MA공정의 최종 단계에 이르러서는 분말의 파쇄와 냉간압접이 균형을 이루게 되어 입자크기가 균일한 분포를 갖게 된다.

MA합금은 이미 상업화되고 있는 항공기용 엔진부품 이외에도 경량고강도 소재로서 Al계 Airframe등이 실용화되고 있으며, 항공산업 이외의 다른분야, 예를 들면 산업용 가스터빈 Blade나 Vane, 유리가공산업, 조선공업, 고속증성자 증식로의 차폐재료등과 같은 원자력공업에도 이용될 전망이다.

이러한 기존의 MA공정의 전망과 아울러, 최근에는 MA공정을 통해 비정질분말제조 가능성 및 결정립의 크기가 수 Nanometer(10^9m)에 불과한 Nanocrystalline 분말제조 가능성이 알려짐으로써 더욱 더 광범위한 소재산업분야의 응용을 전망하고 있다.

3. 결론 및 산업화 전망

세계의 분말야금산업은 새로운 합금 및 공정 개발에 힘입어 현재의 시장규모가 약 50~60억 달러에 달하고 산업의 성장률이 매년 8~12%로 나타나고 있으므로 이러한 추세에 따르면 2000년경에는 시장규모가 약 150~180억 달러로 증가할 것으로 추정된다.

따라서 앞으로 10년간은 수십억 달러의 투자에 의한 분말야금산업규모의 확대와 더불어 그 기술적 및 경제적 파급효과도 지대할 것으로 판단된다. 분말야금 신제조공정에 의해 생산될 수 있는 품목은 항공기 및 자동차부품, 자성재료, 초소성재료, 고온내마모재료, 내식재료등의 고부가가치 제품이 주류를 이루고 있으며, 생산원가 중 원자재가 차지하는 비율도 상대적으로 감소하고 있다.

국내의 경우에는 아직 대부분이 일반분말야금 공정에 의해 생산되고 있으며, 앞에서 언급한 신기술은 아직 연구단계에 머물러 있다. 또한 생산

되는 제품도 일반 기계류부품이나 자동차부품이 대부분으로 고기능부품, 소재 및 구조재는 전량 수입에 의존하고 있는 실정으로서 국내수요가 연간 약 4~5만톤으로 증가할 1995년 경에는 기존의 기술 만으로는 국제경쟁력을 지속시키기 어려운 것으로 생각된다.

그러므로, 이러한 추세에 적극적으로 대응하여 국내 분말야금산업을 육성시키기 위해서는 국내의 관련 연구기관 및 산업계에서 첨단소재 및 부품 생산에 필수적인 신제조공정의 연구에 더욱 주력해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] H.S. Chen:Materials Science & Engineer, 25, 59 (1976)
- [2] D. Raybould:MPR, 3, 282(1984)
- [3] S.J. Savage and F.H. Froes:Journal of Metals, 4, 20(1984)
- [4] H. Jones:Journal of Materials Science, 19, 1043 (1984)
- [5] 김낙준 : 신금속, 8, 2(1987)
- [6] Jacqui Robbins:Materials Edge, 9(10), 17(1987)
- [7] F.V. Lenel:"Powder Metallurgy", Metal Powder Industries Fedaration, Princeton, NJ., USA(1980)
- [8] "Metals Handbook", 9th Ed., Vol 7
- [9] F.E. Luborsky:"Amorphous Metallic Alloys", Butterworths(1983)
- [10] 정형식, 안중호 : 기계와 재료 (KIMM), 2(4), 120 (1990)