

최신 소결기계부품의 제조기술동향

박동규 · 김용진^a

가야AMA(주) 첨단소재연구소, 한국기계연구원 분말재료연구센터

New Trend of Fabrication Technology for Sintered Machine Part

Dong-Kyu Park and Yong-Jin Kim^a

Kya AMA Inc. Yongsan, Kyeongman 626-862,

^aKorea Institute of Machinery and Materials, Powder Materials Research Center

요 약: 분말야금제품의 90%를 점하는 소결기계부품의 기술동향에 대해서 주요한 재료기술과 제조기술에 초점을 두고, 고강도 혹은 고정도라고 하는 시장의 요구에 대응한 신소결재료의 개발 및 고밀도 혹은 복잡 형상에 대응하는 온간성형이나 확산접합등에 관한 제조기술에 대해서 개설했다.

주요어: 소결기계부품, 소결강화강, 온간성형, CNC 프레스, 소결확산접합

1. 서 언

국내의 경우 분말야금 기술이 도입된 지도 어언 40년이 되어 가고 있고¹⁾ 한국분말야금학회(KPMI) 등 학회를 중심으로 한 연구논문은 활발하게 발표가 되고 있으나 아직도 한국분말야금공업회가 결성되지 못하여 일반 현장 중심의 개발, 개선사례가 활발하게 발표, 논의되지 못하는 현장에 근거를 둔 연구자의 한 사람으로 안타까움을 금할 수 없다. 그러한 까닭에 기술 리뷰와 같은 경우에 많은 조사, 연구자들이 국내의 빈약한 발표 자료를 중복 인용하거나 외국의 발표 사례에 의존해서 발표를 할 수 밖에 없어 연구발표를 통하여 다른 연구자들에게 더욱 분발을 하게 해서 더 한층 기술개발이 가속화되는 선순환의 작용을 추진하지 못하는 아쉬운 점이 있다.

본 리뷰의 경우도 그 근간은 외국의 발표사례²⁾를 중심으로 하였으며 당사와 국내의 사례를 간간히 첨가하는 선에서 원고를 마무리 하였다. 현재 한국기계연구원(KIMM) 재료기술연구소에 '고성능 분말소재·부품산업 공동연구 지원센터(PMT&SC)'가 문을 열어 2006년부터 활발한 활동을 계획하고 있고 이미 한국분말야금학회 공동으로 '분말야금 전문기술인 강습회'

초급 과정을 2005년 11월 3~4일에 개최한 바가 있어³⁾ 앞으로의 활동 여하에 따라 이에 대한 어려움은 해소가능할 수도 있다는 전망을 조심스럽게 해보고 있다. 또한 올해는 9월 24~28일 사이에 부산 BEXCO 컨벤션 센터에서 국내 최초로 2006 분말야금 국제학술대회 및 전시회(PM2006, 2006 POWDER METALLURGY World Congress and Exhibition)를 개최하는 만큼 국제 분말야금 학술대회를 아시아 2번째의 개최국으로서의 자존심을 살려 앞으로도 기술개발과 교류를 위한 발표가 계속적으로 이루어지는 계기가 되었으면 하는 마음이 간절하다.

본 고에서는 IMF 때는 물론 그 이후에도 국내 자동차, 가전제품의 발전과 더불어 매년 높은 성장률을 나타내고 있는 소결기계부품의 시장 대응 노력에 의한 기술개발 경향과 사례를, 소결재료의 최대 결점인 기계적 특성을 향상시키기 위한 재료기술의 개발 및 고밀도를 얻기 위한 제조기술에 대해서 서술함과 더불어 분말야금법 본래의 장점인 실형상화(Near net-shaping 혹은 net-shaping)를 목적으로 한 형상부여기술의 동향을 중심으로 살펴보고자 하였다.

우리나라와 일본의 사례를 보면 불황과 더불어 산업구조의 변화, 특히 수주 산업계의 생산저하와 공동화 등 시장 환경이 변화하면 분말야금산업의 경우에

도 초기에는 성장이 둔화하는 등의 악영향을 받지만 내부적으로 체질을 개선하고 원가를 절감하는 노력과 더불어 분말야금이 장점을 갖고 있는 재료나 제조기술을 바탕으로 새로운 용도를 개발하고 새로운 시장을 개발하면 오히려 득이 되는 경우가 많이 있어 왔다. 특히 분말야금은 단조나 주조 등의 타 공법에 비하여 경제적으로 유리한 경우가 많으므로 불황에는 고객들이 불황 타개책으로 분말야금으로의 전환을 모색하기 때문에 오히려 불황에 분말야금 제품의 개발이 많아진다는 역설이 회자되기도 한다.

일본의 경우도 90년대의 저 성장 시대에 분말야금이 장점을 갖고 있는 재료나 제조기술의 개발에 의해 새로운 용도의 개척을 진행했으며 그 중에서도 자동차분야에서는 환경대응과 관련한 제품을 중심으로 원단위의 향상이 이루어져 일본에 있어서 원단위는 2000년 시점에서 7.5 kg/대에 이르렀다. 이는 우리나라의 6.7 kg/대(일부는 12.0 kg/대, 2000년, 현대·기아연구개발본부)보다 높은 수준이나 북미의 16.3 kg/대와 비교해서는 50% 이하의 수치이다. 이는 일본 자동차가 북미의 경우보다 작고 경량이며 분말 단조 부분의 적용이 미미한 점이 있지만 분말야금 제품 개발의 촉진에 의해 더 한 층의 성장이 기대될 수 있다는 분위기다.⁴⁾

소결기계부품에 있어서 재료기술의 발전은 2개의 흐름으로 대별될 수 있다. 그 하나는 합금설계 및 프 로세스 최적화에 의한 기계적 특성의 개량이다. 이는

다시 원재료 부분과 공정 부분으로 나눌 수 있다. 어느 경우든 소결 제품의 강도 향상에 따라 주철, 탄소강 및 합금강 등으로 만든 제품을 분말야금 재료로 만든 제품으로 대체하는 원동력이 되어왔다. 또 다른 하나는 분말야금법의 특징점인 합금성분의 자유도가 높다는 점을 적극적으로 활용해서 특징적인 재료를 창출하는 것으로서 주로 내열, 내마모 부품으로서 그 실용화가 추진되어 왔다.

또 최근의 분말야금 제조기술에 대해서 살펴보면 기계적 특성을 개선하기 위한 각종 고밀도화 기법의 개발과 복잡형상인 부품의 실형상화 목적으로 한 CNC성형프레스의 활용과 확산접합법의 응용을 들 수 있다. 여기에서는 이러한 개발사례를 중심으로 소개한다.

2. 재료 및 분말제조 기술의 동향

철계 구조재료는 그림 1에 나타낸 것과 같은 기본 조성의 Fe-Cu-C계를 베이스로 각종 합금성분의 종류, 첨가량의 조합, 및 원료분말의 제조기술의 진보가 어울려서 기계적 특성이 비약적으로 향상되어 왔다. 그 결과, 그림 2에 나타낸 것과 같은 인장강도 300~1500 MPa, 피로강도 100~500 MPa이라고 하는 폭넓은 영역을 커버할 수 있게 되었다.

최근에는 경제성을 고려해서 기계적 특성의 향상을 주안점으로 한 개발이 진행되고 있고 이하에 그 사례를 소개한다.

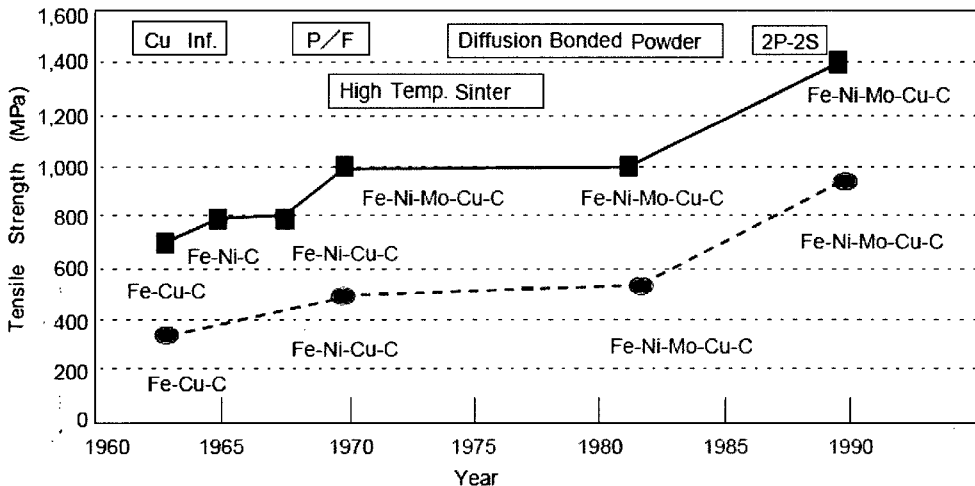


Fig. 1. Trend in the strength of sintered ferrous materials.

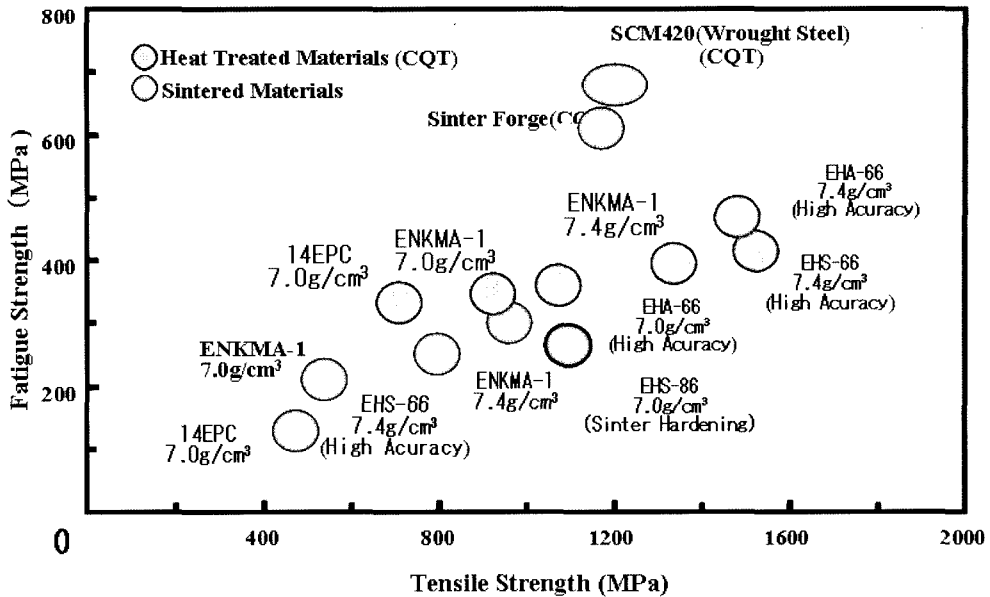


Fig. 2. The relation between tensile strength and fatigue strength of ferrous sintered materials.

2.1. 합금강분을 주원료로 한 고강도강⁵⁾

1980년대에 Ni, Mo, Cu를 순철분에 부분확산(diffusion bonded)시킨 복합분말을 주원료로 한 소결 고강도강(SMF-5040재)이 자동차용 트랜스 미션 등의 고부하 부품에 적용되기 시작했다. 이 재료는 혼합재료에 해당하는 성형성과 합금강분말에 해당하는 균일성을 갖고 있어서 이 분말로 제조된 분말재료는 강도와 인성의 양면에서 종래 재료를 능가하기 때문에 자동차분야에 있어서 소결 기계부품의 성장에 크게 기여했다. 그러나 이 재료는 소결 공정에서의 수축을 동반해 낮은 치수정밀도와 주로 소결재의 고경도에 의한 난삭성이라고 하는 기술과제를 겪어오고 있었다. 최근에 결합제를 응용한 혼합방법이 발달됨에 따라 제조원가가 비싼 부분확산분말 대신에 혼합방법을 응용한 동일한 조성의 분말이 사용되는 경우가 늘고 있지만 수축과 난삭이라고 하는 부분은 공통적으로 겪는 문제로 남아 있다.

따라서 최근의 새로운 경향은 고강도와 고경도의 두 가지를 모두 달성하려는 목적으로 해서 완전합금분말을 사용하는 경향이 늘어나고 있다는 것이다. 폴리브덴을 소량 첨가한 완전 합금분말은 성형성에 거의 영향을 주지 않으면서도 균일한 조직을 제공하기 때문에 최근 여러 합금의 개발을 위한 베이스 분말

로서 많이 사용되고 있다. 이러한 완전합금분말을 베이스로 해서 다시 부분확산법을 응용하거나 혹은 결합제, 혼합방법 조합에 의한 방법으로 여러 재료가 개발되고 있다.⁶⁾

분말 제조업체에 따라 폴리브덴 뿐만 아니라 소량의 니켈을 첨가한 분말들도 개발 사용되고 있다. 소량의 폴리브덴과 니켈을 조합하여 밀도편차에 영향이 적은 재료를 개발한 사례가 발표되고 있다. 그리고 수축 팽창에 대한 구리와 니켈의 상반되는 경향을 적절히 이용하여 치수변화율이 작은 분말재료가 개발되고 있다.⁵⁾

최근에 폴리브덴을 중심으로 해서 첨가원소의 가격이 급등함에 따라 비교적 가격이 싼 크롬, 망간 등을 첨가원소로 한 재료들도 많이 개발되어 적용이 확대되고 있는 상황이다.⁷⁾

소결재료의 치수 정밀도에의 영향인자에는 1) 원료분말특성 2) 화학성분 3) 성형체 특성 4) 소결조건 등의 변동을 들 수 있다. 이들의 요인 해석을 행한 결과, 가장 영향이 큰 인자는 성형체의 밀도변동이었다. 제품 한 개 내의 밀도를 균일하게 하기 위해서 CNC프레스에 의한 성형이나 새로운 분말 충전법에 의한 개선이 주목되고 있지만, 밀도 편차의 영향을 받기 어려운 강종의 선택도 유효한 대책이다.⁵⁾

Table 1. Properties of high accuracy and high strength sintered material

	Heat Treatment	Density Mg/m ³	Hardness HRA	Tensile Strength MPa	Impact Value J/cm ²
New Material : EHA 66 (Fe-0.5Ni-0.5Mo-0.6C)	CQT	7.0	69	1,000	10
Reference Material (Fe-4Ni-0.5Mo-1.5Cu-0.3C)	CQT	7.0	60	980	13

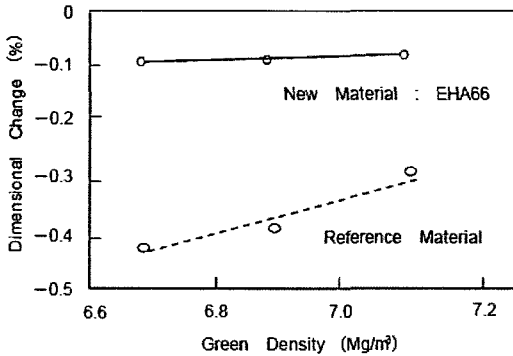


Fig. 3. The relation between green density and dimensional change of new material.

최근에 시도되는 일련의 방법은 혼합분말의 보관용기로부터 다이 충전에 이르기까지의 이송경로를 항상 일정한 조건이 되도록 개선하는 방법과 피더 박

스의 개선하여 분말의 흐름이 일정하게 되는 방법이 시도되고 있다. 원재료 면에서는 전술한 바와 같이 밀도의 편차에 영향을 주는 원소를 가급적 배제한 분말을 사용하는 것이 일예가 되고 있다. 표 1에 고정도이며 고강도인 재료의 특성 예를 나타냈다. 또 그림 3에 이 재료의 성형분말의 밀도와 소결 시의 치수변화율의 관계를 나타냈다. 종래의 고강도재료와 비교해서 치수 변화의 거동이 안정되어 있음을 알 수 있다.

2.2. 신터 하드닝(소결경화) 감

철계 소결 기계부품의 기본공정은 성형-소결-담금질(Quenching)-뜨임(Tempering)이 일반적이지만 소결 시에 급랭한 담금질 조적을 얻는 것도 가능하다. 이른바 소결경화(sinter hardening)강이 상업적으로 공급되고 있다. 소결경화는 가스급랭의 기능을 갖는 특수한 소결로에서의 생산이 일반적이다. 가스급랭장치를

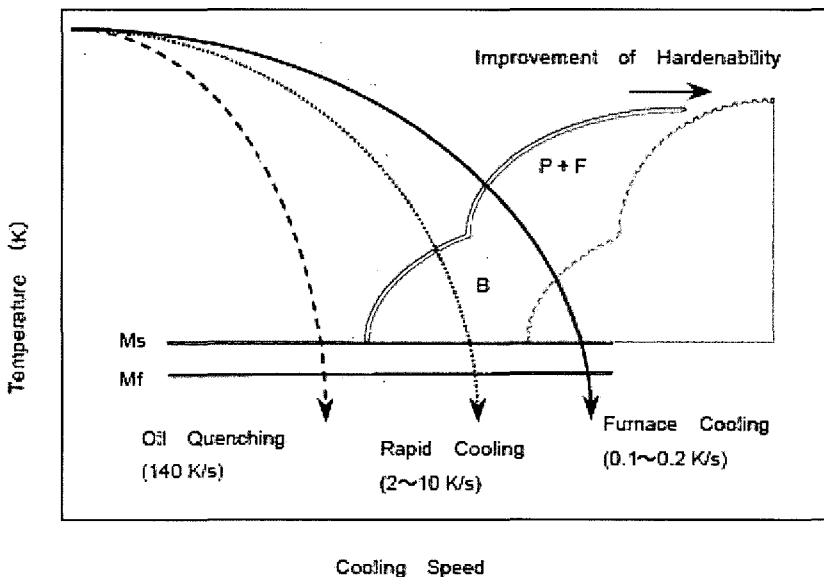


Fig. 4. CCT diagram.

Table 2. Properties of sinter-hardening steel

	Heat Treatment	Density Mg/m ³	Hardness HRA	Tensile Strength MPa	Impact Value J/cm ²
New Material : EHS86 (Fe-6Ni-1Cu-0.5Mo-0.6C)	-	7.0	65	1.170	21
Reference Material (Fe-0.5Ni-0.5Mo-0.6C)	CQT	7.0	69	1.000	10

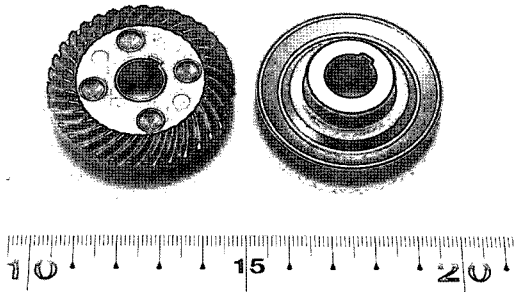


Fig. 5. Spiral gear made from sinter-hardening steel.

부착하면 소결로에서도 빠른 냉각속도를 얻을 수가 있기 때문에 담금질을 한 것과 같은 효과를 얻을 수 있으며 통상의 소결을 할 때는 가스급랭장치를 정지시키면 되기 때문에 어느 재료도 다 소결을 할 수가 있다. 그렇지만 일반의 소결로와는 다르기 때문에 경제성을 고려하여 통상의 냉각속도 하에서 담금질 조직이 얻어진다면 종래 구조를 갖는 소결로가 적용될 수 있어 공정 단축의 효과가 높아질 수 있다고 고려될 수 있다.

그림 4에 나타난 것과 같이 담금질 특성을 향상시키는 원소를 선택하고, 최적량을 첨가하는 것에 의해 로랭(5-15 K/min)에서 마르텐사이트 조직이 얻어진다. 표 2 및 그림 5에 개발재료의 특성과 금속조직을 나타냈다. 침탄 소입재와 비교한 결과, 동등의 인장강도와 우수한 인성을 나타냈다. 현재, 이 재료는 전동 공구용의 스파이럴 베벨 기어에 적용되고 있다.⁸⁾

분말 제조 회사에 따라 가스 급랭, 급랭, 일반 냉각 조건에서의 신터 하드닝 강이 개발되어 있다. 물론 경화능이 클수록 낮은 냉각속도에서 경화가 가능하지만 원소 첨가량이 늘어나기 때문에 경제성을 고려해야 한다. 어느 경우든지 뜨임에 의해 인성을 부여할 필요성이 있다.

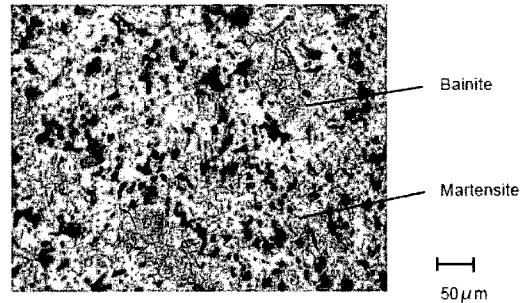


Fig. 6. Microstructure of sinter-hardening steel.

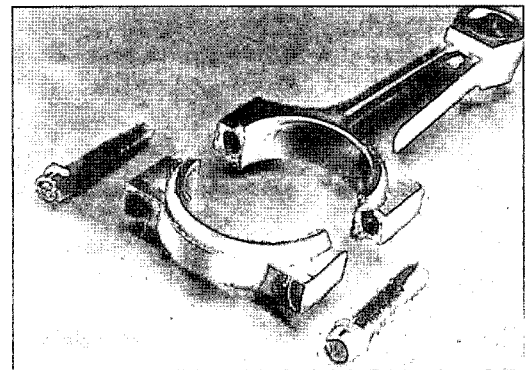


Fig. 7. Powder forged connecting rod.

3. 제조기술의 동향

소결기계부품의 제조기술개발의 목적은 주로 1) 형상 자유도의 향상, 2) 부품성능의 향상이고 부품형상의 복잡화나 요구성능의 고도화와 경제성의 양립을 도모하기 위해 부가결의 기술개발이다. 여기에서는 최근 특히 응용을 확대하고 기반기술로서 생산에 기여하고 있는 사례에 대해서 소개한다.

3.1. 온간성형기술

소결재료의 기계특성은 밀도와 상관관계가 있고 재료가 동일할 경우에 그 강도를 개선하기 위해서는 제

Table 3. Fatigue limit and S-N curve of forged steel

	Powder forged steel (W-70)	Hot forged wrought steel (S-48CM)
Specimen	35.8	33.8
Work-piece	35.0	32.0

S-N curve

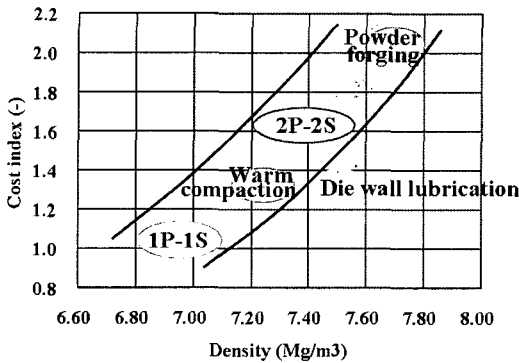


Fig. 8. Relation between const index and density for PM process.

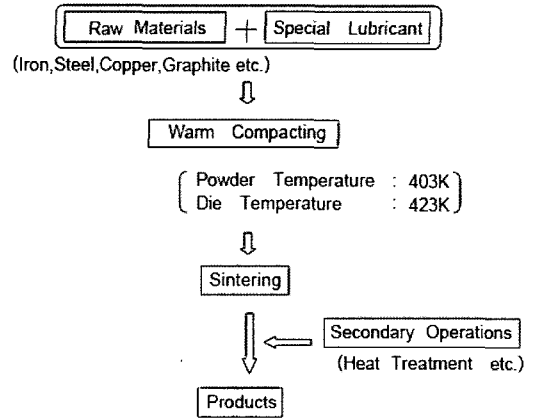


Fig. 9. Basic process of warm compaction.

품의 밀도를 올리는 것이 확실한 방법이다. 그를 위해서 종래로부터 재가압, 단조 혹은 동용칩 등의 공정을 추가해서 고강도부품을 제조하고 있지만 어느 것의 기술도 그림 8에서처럼 코스트 면에서 과제가 있다. 그러나 고객의 요구나 제품의 조건이 코스트보다는 기계적 특성에 있거나 혹은 기계적 특성 조건과 아울러 충분한 코스트적인 메리트가 있을 경우에는 성형-예비소결-재가압-본소결로 이어지는 이른바 2P2S(혹은 DPDS; Double pressing double sintering) 공정을 적용할 수가 있다. 최근에 자동차 엔진용 체인에 적용되는 스프로케트는 높은 피로강도를 요구하기 때문에 이와 같은 공법이 적용되고 있다.

또한 자동차 엔진에 적용되는 커넥팅 로드와 같이 한층 높은 피로강도를 요구하는 경우에는 분말단조가 적용되고 있다. 분말단조로 제작되는 경우는 높은 피로강도를 나타내고 있다. 국내 제조업체의 자료에 따르면 S48CM 단조재에 비해서도 연신율을

제외한 인장강도, 항복강도, 피로강도 등 모든 면에서 뛰어난 특성을 갖고 있다고 한다. 코스트 면에서도 후가공, 재료 분류 비용 등의 부대비용을 감안하면 충분한 경쟁력이 있다고 한다. 후가공 공정의 경우 공정 수가 16공정에서 절반인 8공정으로 줄어든다고 한다.

온간성형기술은 공정을 추가하지 않고 고밀도부품을 경제적으로 제조할 수 있는 기술로서 개발되었다. 그림 8은 이 기술의 기본구성을 나타낸다. 종래의 성형법과의 상위점은 원료분말 및 성형금형을 403-423K로 가열하는 것과 그 온도영역에서 유효효과를 발휘하는 윤활제를 첨가하고 있는 것이다. 그림 11은 분말의 압축성을 나타낸다. 종래의 실온 하에서의 성형과 비교해서 0.1-0.2 g/cc정도, 밀도가 상승한다. 그림 8은 이 기술을 적용한 제품 예를 나타낸다. 현재에서는 엔진부품으로의 확대가 급증하고 있다.⁹⁾

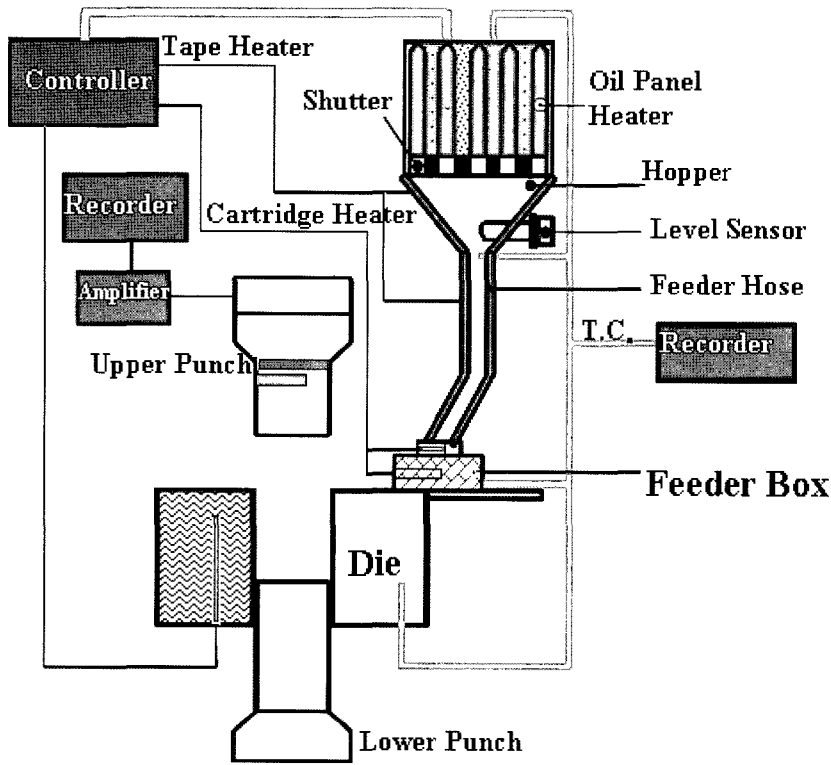


Fig. 10. Schematic diagram of warm compacting system.

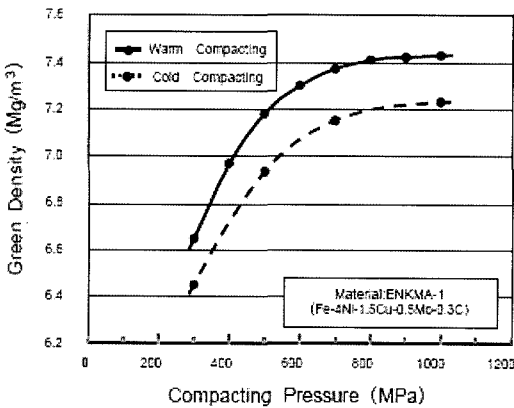


Fig. 11. The effect of warm compacting for powder compressibility.

한편, 부품형상이 복잡하게 되면 온간성형으로 도달할 수 있는 밀도는 7.3 g/cc 정도로 머물고 있어 보다 고부하인 영역까지 적용하기 위해서는 7.5 g/cc 이상의 고밀도인 소결부품의 실현이 기대된다. 그것을 위해서는 제 2세대의 온간성형기술로서 고밀도화를 저해하는 분말 중의 윤활제를 저감시킴과 더불어 전

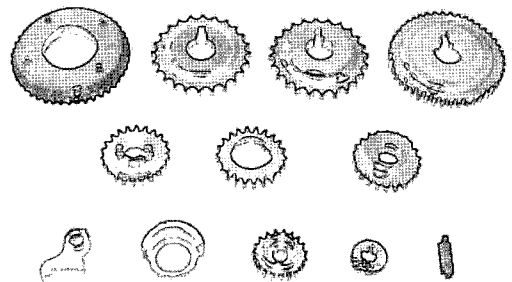


Fig. 12. Structural parts produced by warm compacting.

작도장기술을 응용해서 금형 표면에 윤활제를 분무, 도포하는 이른바 온간금형윤활기술(Warm Die-wall Lubricating Compaction)의 개발이 진행되고 있다. 이 방법을 적용하면 일반 성형과 비해서 그리 높지 않은 코스트로 밀도를 대폭 올릴 수 있는 것이 특징이다.

그러나 이와 같은 온간성형방법의 경우 성형 시 분말의 온도분포가 성형성에 크게 영향을 미치기 때문에 금형 내의 온도를 균일하게 관리하는 것이 중

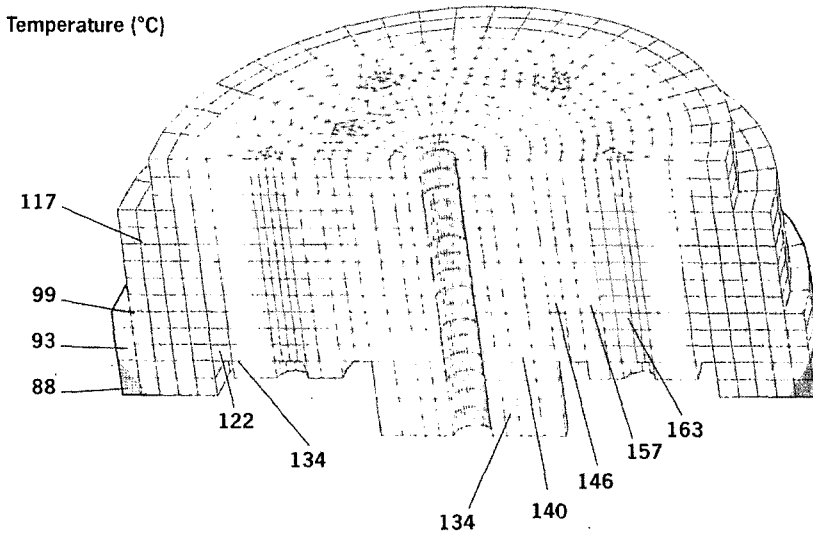


Fig. 13. Temperature distribution in a cylindrical die with FEM.

요하다.¹⁰⁾ 최근에는 이러한 영향성이 줄어든 윤활제가 개발되어 검토되기도 한다. 또한 온간성형 후 성형 밀도뿐만 아니라 강도가 높아지기 때문에 후가공이 어려운 제품을 온간성형 상태 혹은 온간성형 후 예 비소결을 한 다음에 후가공을 하여 난삭성을 줄이는 방법도 시도되고 있다.

상기의 방법들과 같이 제품 전체적으로 밀도를 높이는 것은 재료비와 공정비를 높이는 것일 뿐만 아니라 재료의 낭비를 가져오게 되므로 기어 등과 같이 일부분의 피로강도를 요구하는 경우에는 표면만 밀도를 높이는 전조와 같은 방법이 적용되고 있다.^{11,12)} 전조에 의한 방법은, 소결방법으로 제조된 기어의 양쪽에 마스터 기어를 압력을 가하면서 누르면서 돌려 치형부의 밀도만 올리는 방법이다. 그림 13에 기어부 단면의 기공분포와 조직 사진을 나타냈다.

3.2. CNC 프레스성형¹³⁾

분말의 성형은 금형 내에서 분말을 흘려 넣고, 기계식 프레스에 의한 일축 방향의 가압으로 행해지지만 그것을 위해서 형상적으로 여러 가지의 제약이 생기고, 최종제품의 형상을 확보하기 위해서는 기계가공이 필요하게 되는 경우가 많다. 다단형상제품의 경우, 종래의 성형프레스에서는 균질한 성형체를 얻는 것이 곤란하였지만 CNC(Computer Numerical Control) 분말성형프레스의 실용화에 의해 형상자유도가 높은

니어네트세이프화가 촉진되었다. CNC프레스에서는 분체를 가압하는 펀치가 컴퓨터에 의한 유압제어로 작동스피드 및 타이밍이 정확하게 콘트롤 되고 가압 하에서의 분말이동이 고정도로 행해지기 때문에 다단, 고단차 및 박육형상의 부품을 균질하게 성형하는 것이 가능하게 된다. 또 종래의 성형기술에서는 불가능한 언더컷트 형상 제품도 실용화되고 있다. 그림 14는 제품 예를 나타내고 있다.

3.3. 소결확산접합기술¹⁴⁾

성형이 불가능한 복잡형상의 부품을 제조하기 위해서는 복수개의 부품을 동용침, 브레이징 및 용접 기술에 의해 접합하는 기술이 실용화되고 있지만 어느 것도 제품특성이나 경제성의 면에서 과제가 있어 폭넓게 이용되고 있다고는 말하기 어렵다. 이것에 대해서 소결확산접합기술은 공정이 단순하고 고상상태로 접합이 행해지기 때문에 제품정도가 높고, 금속확산에 의한 접합이기 때문에 접합면의 강도도 높다고 하는 특징을 갖고 있다. 개발당초, 본 기술은 OA기기 등의 경부하 부품으로의 응용에 한정되었지만 그 높은 신뢰성이 인식되어 최근에는 그림 15에 나타난 것처럼 고부하의 자동차부품에 까지 용도가 확대되고 있다. 그림 16은 이 기술의 기본원리를 나타낸다. 소결공정 중에 재료의 종류에 따라 다른 치수변화의 거동을 나타내는 현상을

이용한 기술이고 그림에 나타낸 예에서는 탄소량이 다른 2부품의 팽창양이 특히 금속 확산이 활발한 고온역에서 차가 큰 것에 의해 2부품이 접촉해서 확산이 진행해 강고한 접합면이 형성된다. 현재에 서는 접합이 가능한 재료의 조합이 확대됨과 더불어 강재 부품과 소결부품의 조합도 실현성이 높아 지고 있다. 더욱이 이 기술의 새로운 전개로서 복수의 기능을 갖는 복합부품의 제법기술로서 주목되고 있다. 구분적으로는 구조부품과 자성부품의 2부품을 조합해서 부품이 벌써 하이브리드 차에 탑재 되고 있다.

4. 결 언

경쟁이 치열해 지고 고객의 요구조건이 까다로워 지면서 기술과 경제성의 양립이라고 하는 과제에 대한 분말야금 업체의 어프로치 사례를 몇 가지 소개 했지만 금후에도 변함없이 철계 소결기계부품의 고강도화, 실형상 기술의 고도화, 환경과 조화된 재료 및 제조기술, 기능성 부가를 위한 복합화기술 등의 개발에 의해 소결기계부품의 시장이 확대될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 강석중 외 : 분말야금재료공학, 한국분말야금학회 (2004) 16-17.
- 2) 遠藤弘之: 焼結部品の技術動向, 日立粉末冶金 Technical Report, **1** (2002) 2-6.
- 3) 2005년도 제1기 분말야금 전문 기술인 강습회, 한국 분말야금학회 (2005).
- 4) Donald G. White : "State-of-the-North American P/M Industry-2001", The International Journal of Powder Metallurgy, MPIF, **37**(4) (2001) 33-41.
- 5) 遠藤弘之 : "材料からみた自動車焼結部品の技術展望", 粉體および粉末冶金, **44** (1997) 466-469.
- 6) George Poszmik et al : "Single pressed single sintered P/M products For high density, high performance applications", 2004 Powder Metallurgy World Congress, EPMA, Vienna, Austria
- 7) Bruce Lindsley : "Development of a High Performance Nickel-Free P/M Steel" 2004 Powder Metallurgy World Congress, EPMA, Vienna, Austria
- 8) Tadayuki Tsutsui, Kei Ishii, Sumihisa Kotani, Junichi Kamimura : "Development of High Strength PM Steel without Quenching Process", Proceeding of the 1998 Powder Metallurgy World Congress, EPMA, **2** (1998) 607-612.
- 9) 石井啓 : "焼結機械部品と焼結含油軸受", 第5回新粉末冶金入門講座テキスト (1998) 41-54.
- 10) Höganäs, AB : Höganäs Handbook for sintered components 4, Warm compact (1998) 32-47.
- 11) Shigeyuki Saito, Yoshimi Sugaya, Makoto Iwakiri, Tsuyoshi Kagaya : "Characteristics of High Density P/M Parts Produced by Die Wall Lubrication Method", Proceeding of the 2002 Powder Metallurgy World Congress, MPIF (2002).
- 12) Francis Hanejko et al. : "Surface densification approach to high density gears", 2004 Powder Metallurgy World Congress, EPMA, Vienna, Austria.
- 13) 岸雄治, 梅垣俊造, 平尾隆行 : "CNC粉末成形プレスによるネットシェイプ成形の可能性", 塑性と加工, No. 436 (1997) 419-423.
- 14) 浅香一夫 : "結焼散接合による複雑形状部品の成形", 塑性と加工, No. 436 (1997) 424-429.