

자동차용 소결부품의 기술전망

본 내용은 자동차용 소결부품의 고부가 가치화 특집(粉體および粉末冶金, Vol.44, No. 5, 1997)중에서 일부분을 발췌 요약한 것이다.

(선문대학교 재료금속공학부 임태환)

1. 서 론

자동차 분야에 있어서 소결부품이 지금까지 성장한 것은 자동차회사의 공헌이 크다. 특히 설계자의 소결부품 및 재료, 원료분말에 대한 이해도가 높아 적극적인 소결화 설계가 이루어졌기 때문이다. 그 배경에는 형상부여 등의 제조기술과 함께 재료, 원료기술의 발전이 기여하였다고 말할 수 있다.

본 해설에서는 자동차용 소결부품의 확대(철계 재료에 한정)를 위하여 재료 및 원료분말 면에서의 과제를 명확하게 하고 장래의 전망에 대하여 논한다.

2. 재료의 관점에서 본 자동차용 소결부품의 기술전망

2.1. 기술과제

철계 소결재료는 그림 1에 나타낸 기본 조성인 Fe-Cu-C계로부터 출발하여 각종 합금성분의 종류, 분말의 조합, 원료분말 제조법의 진보 및 부품제조기술의 진보 등에 의해 고밀도, 고강도가 달성되어 착실하게

소결부품의 기계적 성질을 향상시켜 왔다. 그 결과는 그림 2에 나타낸 것같이 인장강도가 300~1500 MPa, 피로강도가 100~600 MPa이라는 폭넓은 영역까지 확대 할 수 있게 하였다. 그러나, 자동차 부품의 적용이라는 관점으로부터 보면, 이와 같은 고강도 부품은 현실적으로 제한된 부품에만 적용되고 있다. 그 이유로서는 고강도 제품의 가격이 고가(高價)이기 때문이다.

분말야금법의 특징은 재료의 손실률이 적고, 가공에 의한 재료의 손실도 발생하지 않는 금속 가공기술로서 인정받고 있으나, 현실에서는 생산되고 있는 제품의 50% 이상을 어떠한 형태이든 기계가공을 하고 있는 것으로 추정되어 제품의 단가에서 가공비가 점하는 비율이 높다. 그 배경에는 각종의 제약에 의해 분말성형시에 있어서 제품 형상 창출의 어려움과 각 제조 공정에서 발생하는 편차에 의해 제품의 치수 정밀도를 만족시키지 못하기 때문이다.

한편 자동차 주변의 환경이 변화하고 있고, 앞으로 동향의 여하에 의하여 소결부품 및 소결재료도 어떠한 형태이든 영향을 받을 것으로 예측된다.

위의 배경으로부터 현재 및 앞으로의 기술과제

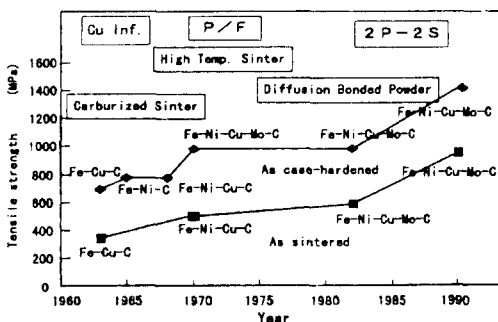


Fig. 1. Trend of strength of sintered iron-base materials.

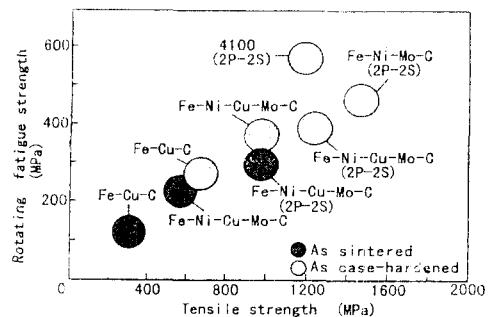


Fig. 2. The relation between tensile strength and fatigue strength of iron-base sintered materials.

를 요약하면 다음의 항목이 중요하다고 인식된다.

- 1) 경제성을 고려한 기계적 특성의 향상
- 2) 치수 정밀도와 기계적 특성의 양립
- 3) 자유도와 관련된 환경변화에의 대응

다음에는 이 기술과제에 대한 구체적인 대응 대책을 논한다.

2.1.1. 경제성을 고려한 기계적 특성의 향상

기계적 특성 향상의 수단으로는 소결단조법, 2회성형 2회소결법(2P·2S), Cu용침법, 고온 소결법 등이 유력한 방법이나, 어느 경우에 있어서도 가격의 상승 또한 치수 정밀도의 저하와 관련되어 있어 소결기계 부품 제조기술의 주류라고는 할 수 없다. 한편 재료의 면에서 강도향상을 위한 방법으로 고함금화와 적절한 열처리 등의 조합으로 양호한 특성을 발휘하는 소결 강종의 개발이 진행되어 왔으나, 역시 가격의 벽을 타파할 수 없었다.

여기서, 경제성을 고려하여 단순한 공정으로 고강도화를 실현하기 위한 방법으로는 이하의 기술이 검토되고 있다.

- a) 온간 성형법
- b) α상 소결법
- c) 소결 소입법

위와 같은 기술중 온간 성형법은 세계 각국에서 실용화가 개시되어, 기반기술로서 그 장래가 크게 기대된다. 여기에서는 최근 개발된 소결 소입법의 실예에 대하여 보고한다.

소결-소입-소려 또는 소결-침탄소입-소려 공정에 의한 고강도화 방법에 대하여, 공정단축을 목적으로한 Rapid-cooling법이 주목되어 일부에서는 전용로에 의해 생산을 개시되고 있다. 그러나, 본 기술에서는 전용로의 설치가 전제이고, 경제성의 면으로부터도 유

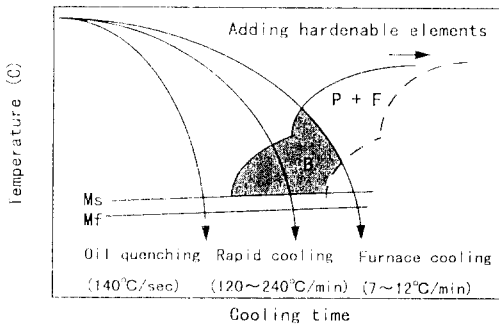


Fig. 3. Schema of CCT diagram.

	Density	Hardness	Tensile strength	Impact value
	(Mg/m ³)	(HRA)	(MPa)	(J/cm ²)
Developed material	7.0	85	1170	21
Current material (Case-hardened)	7.0	71	1150	14

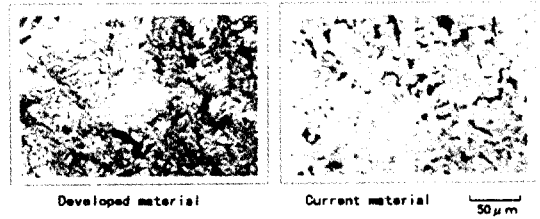


Fig. 4. Characteristics of developed material.

리하다고 말할 수 없다. 여기서 종래의 소결 전용로를 적용하여 보통의 로냉하에서 소입조직이 얻어지면 본래의 공정단축의 효과가 발휘되어 경제성의 면에서도 충분히 실용성이 높다고 생각된다. 그림 3에는 그 개념도를 나타내었다. 소입성을 대폭 개선할 수 있는 원소의 종류 및 첨가량을 선정하여 종래의 침탄소입재와 비교한 결과를 그림 4에 나타낸 것 같이 동일한 밀도에서 동등한 인장강도가 얻어지고, 또한 우수한 인성을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한 내마모성도 동등한 것을 확인하였다. 본 기술에서는 재료의 강도 수준에서 볼 때 기계가공 및 싸이징(sizing)이 곤란하기 때문에 소결 소입시 치수 정밀도가 높아야 하고, 최종제품 형상이 성형공정에서 완성되는 제품을 대상으로 하는 것이 바람직하다. 앞으로는 CNC press성형, 각종 접합기술의 조합에 의해 발전이 기대된다.

2.1.2. 치수 정밀도와 기계적 특성의 양립

합금성분 증가에 의한 고강도화는 그림 5에 나타

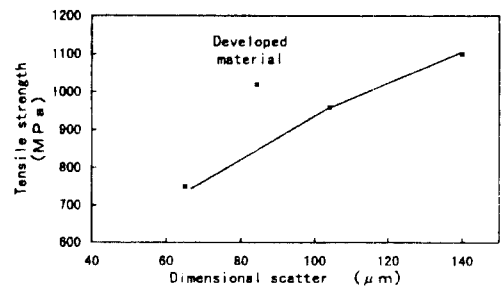


Fig. 5. The relation between dimensional accuracy and strength.

낸 것 같이 치수 정밀도의 저하를 초래한다. 소결재료의 치수 정밀도에 영향을 미치는 인자로서는 원료분말의 특성, 원료분말의 화학성분, 성형체 특성, 소결조건 등의 변동을 들 수 있으나, 원료분말, 각종 제조 조건의 변동 폭을 확인한 상태에서 요인 해석을 한 결과, 정밀도에 크게 영향을 미치는 것은 성형밀도의 편차이다. 제품 1개 내에서의 밀도 균일화에 관하여는 CNC press, 성형시물레이션 등에 의해 개선이 진행되고 있으나, 재료 면에서의 개선은 제품의 밀도편차가 치수 정밀도에 크게 영향을 미치지 않는 강종의 선택도 대책의 하나가 되리라 생각한다. 새로운 강종 선정의 기준으로서는 성형-소결공정에서 치수 변화량의 절대값이 작고, 또한 밀도변동에 대해 치수 변화율 거동이 작은 재료가 바람직하다. 그림 6에는 이것을 목표로 하여 개발한 신재료의 치수변화를 나타내나, 종래의 고강도재에 비교하여 안정한 치수변화거동을 나타내고 있다. 또한 신제품의 특성을 종래재와 비교한 결과 강도, 정밀도의 균형이 우수한 것을 확인하였다.

한편, 성형의 제약으로부터 최종 제품형상을 얻기 위하여는 기계가공을 하지 않으면 안되는 경우도 다수 있어 제품가격에서 기계가공비의 비율이 높다. 기계가공비 인하의 대책으로 재료의 절삭 가공성을 높이기 위하여 각종 대책이 실행되어지고 있고, 그의 대표적인 것으로서는 MnS분말을 기지에 분산시키는 방법이 있다. 그러나, MnS의 분포상태에 의해 강도저하가 발생하고, 소결시 Sn등이 발생하는 문제가 있다.

최근에는 특수한 산화물 입자의 미량 첨가에 의하여 위의 문제를 해결하는 방법이 개발되었다. 기계가공성이 매우 곤란한 부분확산 합금분말을 주 원료로 하는 소결재료에 산화물 입자 첨가의 효과를 그림

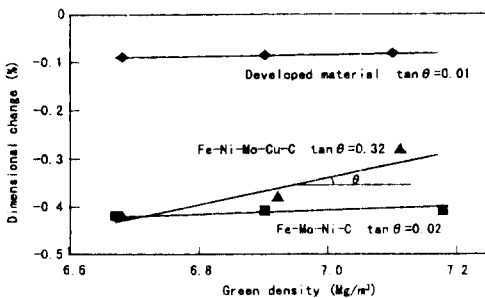


Fig. 6. Relation between green density and dimensional change.

Chemical compositions (mass%)

Fe	Ni	Cu	Mo	C	Oxide particle
Bal.	4.0	1.5	0.5	0.5	0.3

Mechanical strength

	Without oxide particle	With oxide particle
Density (Mg/m ³)	7.0	7.0
Hardness (HRB)	96	95
T. S. (MPa)	725	720
Impact value (J/cm ²)	19	18
Fatigue strength (MPa)	220	220

Fig. 7. Characteristics of material with oxide particle.

7에 나타내었다. 첨가에 의해 강도는 약간 저하하나, 소결시에 발생하는 Sn 등의 문제를 해결하였다. 그림 8에는 동일재료에 대하여 기계가공성에 미치는 산화물입자 첨가의 효과를 나타내었다.

2.1.3. 자유도와 관련된 환경변화예외의 대응

자동차에 있어서 앞으로의 최대의 과제는 지구환경법규제의 대응이라고 생각한다. 따라서, 소결부품 재료에도 변화가 예상된다. 구체적으로는 다음과 같은 과제가 주목되리라 생각된다.

a) 대체 연료에의 대응

대체 연료로 CNG, LPG, 알콜 등이 채용되었을 경우 특히 엔진 부품의 사용환경이 변화하여 재질변경도 하지 않으면 안될 것으로 예상된다.

b) 소결재료의 리사이클성 향상

기업의 사회적 책임이라는 관점에서부터 소결부품도 리사이클하기 쉬운 재료로 또한 유휴물을 포함하고 있으면 안된다. 당면과제로서는 내마모부품, 회전용 부품으로 사용되고 있는 납함유재에 대한 대체재

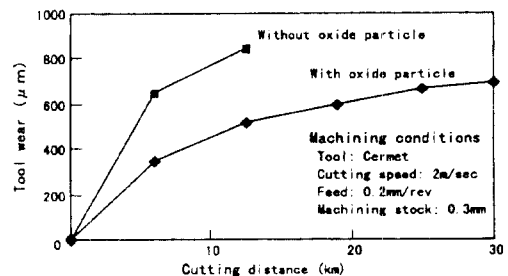


Fig. 8. Machining test results.

의 개발이 필요하다.

c) 전기자동차용 부품의 개발

환경의 green화 달성을 위하여 전기자동차가 한층 주목을 받고 있다. 이것을 분말야금 업계로서는 호기로 볼 것인지 위협으로 볼 것인지는 의견이 나누어지고 있으나, 어느 경우에 있어서도 본 분야에 있어서 새로운 용도를 찾지 않으면 안된다. 구체적으로는 형상부여기술과 재료기술을 조합한 새로운 자성재료의 개발이 앞으로의 과제라고 생각한다.

3. 원료분말로 부터 본 자동차용 소결부품의 기술전망

3.1. 자동차 소결부품용 원료분말의 현상

3.1.1. 자동차용 소결부품의 기본성능 향상

자동차용 소결부품의 기본 특성으로서는 인장강도, 피로강도, 내마모성, 충격인성 등의 재료특성이 요구된다. 이것들의 특성을 향상시키기 위하여는 합금원소의 첨가 및 열처리에 의해 재료의 기지 조직을 제어하는 방법과 소결밀도를 높이는 방법이 있다.

i) 조직제어와 고강도화

고강도용 합금강분말은 주로 water atomized법으로 제조되어지고 표 1에 나타낸 것 같이 water atomized 후 강분말의 환원소둔을 수소를 주성분으로한 가스 분위기 중에서 용이하게 하기 위하여 Ni 및 Mo가

가 첨가된 합금분말이 개발되었다. 내마모성특성이 요구되는 부품에 대하여는 Cr을 합금화하여 진공 중에서 CO가스반응에 의해 환원한 분말이 개발되었다. 합금화 방법으로는 합금원소를 완전 합금화하여 소결체 조직의 균일화를 목적으로한 것과, 연질의 철분말 표면에 부분 합금화하여 압축성 향상을 목적으로한 분말이 있다. 또한 이것들의 중간형으로 철에 고용경화시키기 어려운 Mo을 완전합금화하여 타의 합금원소분말을 부분합금화한 분말도 있다.

완전합금화 강분말으로는 보통 베이나이트(bainite)계 조직이 얻어지나, Ni을 부분합금화한 분말에서는 소결시에 Ni이 균일하게 철분말 중에 확산하지 않으므로 마르텐사이트, 베이나이트 조직에 오오스테나이트가 혼합한 복합조직이 얻어진다. 예를 들면, 고밀도의 소결체가 얻어지는 금속사출성형법에는 Fe-1.8%Ni-0.2%Mn-0.5%Mo조성의 미분말이 이용되고 있다. 또한 보통의 프레스 성형용 합금분으로는 Fe-2%Ni-1%Mo합금 조성에서 2P·2S·光輝燒入(진공소입)에 의해 2000 MPa정도의 높은 강도가 얻어지는 분말이 개발되었다. 인장강도의 향상에 의해 피로강도의 향상도 기대되나, 열처리재와 동일한 고강도 영역에서 회전굽힘 피로강도는 500 MPa 정도에서 포화하는 현상이 있다.

한편, 열처리를 생략하여 고강도화하기 위하여는 Ni, Mo을 첨가하여 베이나이트로 하는 방법 외에

Table 1. Alloyed steel powders for high strength application

Alloying methods	Alloy system	Chemical composition (%)					
		Ni	Mo	Mn	Cr	V	Cu
Pre-alloying	Ni	0.5	0.5				
		1	0.5				
		2	0.5				
	Cr		0.3			1	
			0.3	0.7		1	
			0.3			3	0.3
Mo		0.85					
		1.5					
		3.5					
Partially alloying	Ni-Cu-Mo	4	0.5				1.5
	Ni-Mo	2	1				
Pre-alloying +Partially alloying	Ni-Cu-Mo	4	(1.5)				2
	Ni-Mo	2	(1.5)				
	Cu-Mo		(1.5)				2

(): Pre-alloyed.

Table 2. Densification techniques

Compacting/Sintering methods	Advantages	Disadvantages
● Doble compacting/ dubule sintering	Proven technique	High cost
● Powder forging	Proven technique	High cost
◎ Warm compaction	Low cost	?
○ High pressure compacting	Low cost	Die life
○ Die lubrication	Low cost	Productivity
○ Cold Foming	Without sintering	?
● Liquid phase sintering	Low temperature sintering	ductility
◎ α phase sintering	Ductility	?

● : Mature, ◎ : Commercialization, ○ : Development

Cr첨가로 미세한 퍼일라이트조직으로 함으로서 1000 MPa의 인장강도가 얻어지는 분말도 있다.

ii) 고밀화와 고강도화

소결재료의 기계적 특성은 소결체의 밀도에 강하게 의존한다는 것은 잘 알려져 있다. 소결밀도의 향상에는 종래부터 실행되어지고 있는 원료분말의 고순도화에 의한 압축성향상 방법 이외에 표 2에 나타낸 것 같이 여러종류의 방법이 개발되어 있다. 2P2S, 소결탄조 및 액상소결법이 실용화되어 있으나, 가격 및 재료특성에 문제가 있으므로 적용분야가 한정되어 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 150°C 전후의 온도에서 가압성형하는 온간성형법 및 Mo를 첨가하여 고온에서 소결하는 α 상 소결용 분말이 개발되어 있다(α 상 소결용 분말에는 흑연분말이 첨가되어 있지 않다). 이와 같은 방법은 어느 경우에 있어서도 성형 후에 소결을 1회 또는 그 이상 실시하는 분말야금 기술이다. 이것에 대하여 최근 보고되고 있는 Cold Forming법은 세라믹스 및 W, Al 등의 분말 입자 표면에 Cu 등을 도금한 원료분말을 이용하여 높은 성형체강도를 유지하므로써 소결공정을 생략한 것이다.

한편 원료분말의 종류에 관계없이 고밀도를 얻는 방법으로서 고압력성형법 및 새로운 금형윤활법도 보고되고 있다.

앞으로 위와 같은 새로운 성형방법과 조합한 원료분말의 개발이 필요하다고 생각한다.

3.1.2. 자동차용 소결부품의 고부가가치, 고기능화

대량 생산되어지는 자동차 소결부품은 그 품질의 안전성이 중요하다. 지금까지는 첨가 흑연량의 안정화를 목적으로한 편석방지 처리분말이 개발되었으나, 앞으로는 흑연 이외의 합금성분에 대하여도 안정화가 진행되면 재료특성의 안정화는 더욱 높아지리라 생각된다. 또한 소결재료의 치수 정밀도가 향상되면 고가(高價)의 제품을 제조할 수 있고 동시에 제조공정에서의 싸이징 등의 치수조정, 절삭 등의 기계가공 공정도 생략되기 때문에 주목받고 있다.

i) 편석방지

철분말에 첨가되어지는 흑연분말, 윤활제는 비중에 의해 철분말과 크게 다르기 때문에 단순 혼합분말에서는 분말의 수송시에 이것들이 철분과 분리 편석되기 쉽다. 이것을 해결하기 위하여 철분 입자 표면에 결합제를 부착시키는 방법을 원료분말 제조 각사(各社)에서 개발하였다.

ii) 치수 정밀도

자동차용 소결부품은 정밀도가 높은 금형을 이용, 성형하여 소결하는 것만으로도 치수 정밀도가 높은 부품을 대량생산 가능한 것이 본래의 특징중의 하나이다. 따라서 치수 정밀도 향상은 중요한 과제이다.

소결부품은 성형시의 spring back, 열팽창, 첨가탄소, Cu의 Fe중으로의 확산 등에 의해 소결체의 치수가 복잡하게 변화한다. Fe-Cu-C계의 소결시 철분말중으로의 탄소, Cu의 확산거동을 상세하게 분석한 결과, 철분입자 표면에 있는 Si산화물이 치수정밀도에 크게 영향을 미치므로 철분 중의 Si량을 이용, 소결치수 변화를 제어하는 철분말이 개발되었다는 보고가 있다.

한편 소결부품 제조회사에서는 부품 성형시에 금형으로의 원료분말 흐름을 제어함으로써 금형 중으로의 충전량 변동을 제어하는 방법을 검토하고 있다. 금형 중으로의 원료분말의 공급은 치수 정밀도, 고밀도 성형 및 고속성형에도 중요한 기술과제이다. 앞으로 이와 같은 분말성형 기술 및 장치의 발전에 맞추어 원료분말의 개발도 필요하다.

3.1.3. 자동차용 소결부품의 생산성 향상

자동차용 소결부품에는 재료, 부품으로서의 성능, 기능성의 향상 이외에 제조가격의 인하가 매우 중요하다. 이와 같이 하기 위하여는 소결부품 제조의 생산성 향상이 중요하다. 생산성 향상을 위하여는 제조상의 불량률감소, 원료가격의 인하, 가공가격의 인하,

제조공정의 생략, 제조속도의 향상 등이 있다. 제조 공정에서 불량율 감소는 탄소 편석 방지분말 사용에 의한 원료손실 감소 및 제품손실 감소가 있고, 원료 가격 인하에는 고가의 Ni이 함유되어 있지 않은 Cr계 합금조성 분말을 이용하는 것이 있고, 가공가격의 인하에는 미량의 S완전 합금화 분말의 사용 및 산화물첨가에 의한 피삭성 향상이 있다. 또한 소결후에 행해지는 각종의 기계가공 및 열처리 등의 부가적 제조공정의 생략은 매우 중요한 과제로 생각되어진다. 따라서, 절삭공정을 생략하기 위한 방법으로는 소결 접합(절삭가공이 필요한 부품을 2개의 부품으로 분할 성형하여 이것을 소결시에 일체화시키는 방법)이 있고, 열처리 공정을 생략하기 위한 방법으로는 고강도 Cr계 합금 분말(Fe-1%Cr-0.3%Mo-0.3%V)사용이 있다.

3.2. 원료분말의 앞으로의 전망

자동차의 소결부품 탑재량은 더욱 증가하고 있기 때문에 소결부품의 기준성능 향상, 고부가치화, 고기능화 및 생산성을 향상시키는 새로운 분말야금 제조

공정이 개발되리라 생각한다. 원료 분말야금도 협력 기술(Concurrent engineering)에 의해 새로운 분말야금공정에 적합한 것을 개발하여 나가야 한다. 원료분말은 성형체의 균일성(uniformity)이 향상되고, 소결한 상태에서 재료특성이 향상되는 분말이어야 한다. 그리고, 고정밀도의 분말성형기술과 열처리 공정의 생략을 이용하면 일반 분말야금의 간단한 공정에 의해 고정밀도의 부품을 저가격으로 생산하는 것이 가능하다고 생각된다.

4. 결 론

이상 자동차 분야에 있어서 당면의 기술과제에 대하여 논하였으나, 분말야금 업계로서는 자동차 부품의 시장은 아직도 매력적이고 확대의 가능성을 가지고 있다고 생각한다. 단지 원료(분말), 재료 부품 개발의 방향성 설정에 실패하면 안되므로 자동차회사, 부품회사, 원료회사 간에 concurrent engineering의 중요성이 점점 높아지리라 생각한다.