

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학 재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

## 분말 야금에 의한 고인성 자동차 Clutch Disc Spline Hub 개발에 관한 연구

허만대\*, 장경복\*, 강성수\*\*

### A Study on the Automobile Clutch Disc Spline Hub with High Toughness by Powder Metallurgy

M.D. Hur\*, G.B. Jang\*, S.S. Kang\*\*

#### ABSTRACT

Powder metallurgy processes are able to form Net-Shape products and have been widely used in the production of automobile parts to improve its productivity. However, because of pores in powder products, the toughness of powder products are generally poor. Therefore, forged products are used in parts which suffer severe fatigue loads. In this paper, the choice of powder materials and production processes such as mixing, compaction, sintering, heat treatment to produce automobile spline hub are studied. Three type of materials are selected and processed and its microstructure and properties are investigated by tensile test, compression ring test, and impact test. Materials and processing methods are selected from the results. Finally, experimental spline hubs are manufactured by selected processes from selected powders and proved by torsional durability test.

**Key Words** : Powder metallurgy(분말 야금), Elemental Powder(기초 분말), Diffusion prealloyed Powder(확산 합금 분말), High toughness(고인성), Sintering(소결), Torsional durability test(회전방향 내구시험)

#### 1. 서론

최근 자동차는 전자화, 고급화, 안전화 등에 대한 고객들의 요구 다양화에 따라 부대장비가 늘어나 자동차 중량이 계속 증가하는 추세이며, 세계적으로 환경오염 문제가 대두되면서 기업별 평균연비 및 자동차 배기가스 규제 강화에 대한 연비 개선이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

자동차의 연비 개선 대책은 엔진, 구동 계의 효율 향상, 주행저항 절감, 경량화등이 있으나 엔진 효율 및 구동계의 효율 향상은 기술적으로 거의 한계에 도달하여 대폭적인 효율향상은 기대하기 어려운 실정이다. 따라서, 구조 변경, 경량화 재료, 부품 합리화 등에 의한 경량화가 연비 개선에 가장 기여도가 높는데, 이중 경량재료 변경에 대한 효과가 크게 기대되는 실정이다. 특히 최근 들어 부품

\* 부산대학교 기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

의 제조원가 절감 및 경량화를 실현하는 재료로서 분말 야금기술이 각광받고 있다.

분말야금이란 금속 원료 분말을 사용하여 원하는 제품의 형태로 성형을 한 다음 적정 온도에서 소결하여 필요한 금속 제품을 제조하는 기술을 말하는데, 분말 야금법에 의한 소결 부품은 원료 분말을 혼합하여 성형, 소결의 공정을 거쳐 제조되기 때문에 재질과 형상의 선택범위가 넓으며 정확한 치수로 생산할 수 있다. 즉, 분말 야금법의 최대 장점은 원료 분말을 금형 내에서 압축에 의해 거의 최종제품의 형태(Net Shape)가 갖추어지므로 기계가공을 대폭 삭감 할 수 있다는 것이다<sup>(1)</sup>.

본 논문에서는 현재 자동차 클러치에 적용되는 냉간 단조로 가공하는 스프라인 허브 부품을 분말야금을 이용하여 원료 분말의 선택에서 혼합, 제조, 정적시험 및 동적 시험을 거친 후 나아가 실차에 적용되는 단계까지의 연구와 실험을 토대로 기술하였으며, 현재 냉간단조로 하여 기계가공으로 제조되는 스프라인 허브와 비교하여 성능 및 기계적 기능이 적합하다면 제조공정의 단순화와 원가절감 차원에서 대체 부품으로 사용될 수 있을 것이다. Fig 1.은 기존의 냉간단조와 분말야금의 공정 비교도인데 상당한 공정의 단축을 가져옴을 알 수 있고, 특히 절삭 가공을 생략할 수 있어 상당한 원가절감을 기대할 수 있다.

연구의 주안점은, 분말 야금품은 공극(Pore)을 내포하고 있으므로 단조품에 비해 인성(Toughness)면에서 떨어진다고 알려져 있으나, 분말의 선정, 적절한 제조공정 등으로 공극의 크기가 일정크기 이하가 되게하면<sup>(2)</sup> 인성(Toughness)을 확보할 수 있으므로 이를 통한 충분한 피로성능을 가진 스프라인 허브 부품을 상품화하는데 있다. 고 토크가 작용하는 핵심 부품은 분말단조로 제조되어야만 하는 것으로 판단되고 있으나 기존 분말가공의 공정조절 만으로 분말 단조로<sup>(3)</sup> 된 부품에 필적하는 부품을 제조할 수 있다면 코스트 측면에서 상당히 유리할 것으로 판단된다.

이를 위해 3가지의 분말을 선택하여 각각 열처리 하지 않은 것과 두 종류의 열처리를 하여 인장, 충격, 압환 시편을 만들어 시험하고 조직검사를 통하여 고인성에 가장 적합한 재료를 선택하여 시제품을 제작한 후 실차 내구 테스트를 실시하였다.

## 2. 시편 제작

### 2.1 원료분말의 선정

분말 야금법에서 원료 분말의 선정은 가장 기본적인며

중요한 항목이다. 분말 선정시 고려되어야 할 특성에는 물리적 성질 및 화학적 성질이 있으나, 본 연구에서는 분말원가와 고인성을 고려하여 3 종류의 분말을 선택하였다. 우선 기초 분말(Elemental Powder)로서 가격이 저렴한 분말 A와 가격은 다소 고가이나 분말간의 결합력이 뛰어난 확산 합금 분말인 분말 B, 그리고 가격은 가장 고가이나 합금량이 분말 B보다 많아 강도면에서 가장 우수한 분말 C를 선택하였다. Table 1에 각 분말의 화학적 조성을 나타내었다.

### 2.2 시편제작 조건

각각의 분말을 성형압 7.0 ton/cm<sup>2</sup>으로 성형 밀도(green density) 7.0g/cm<sup>3</sup>이상으로 성형한 후 구리가

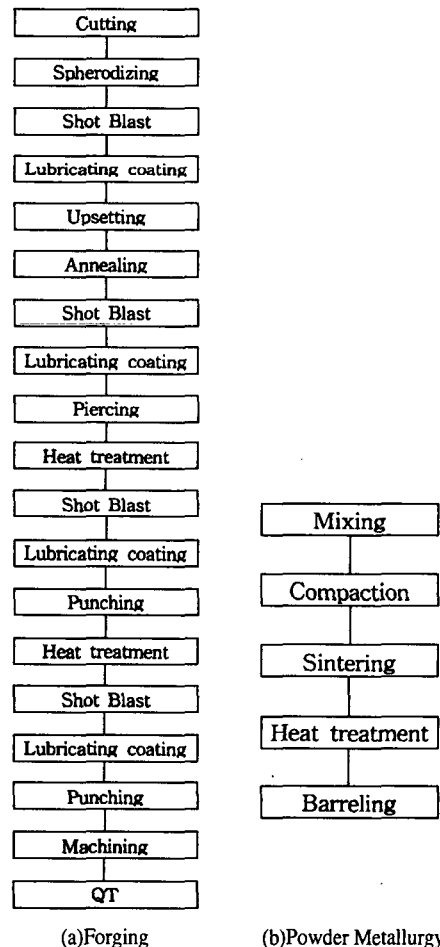


Fig. 1 Comparison of Flow charts for Forging and Powder Metallurgy Processes

녹아서 입자들 사이로 스며들 수 있도록 구리의 용점보다 다소 높은 1100℃에서(온도가 너무 높으면 구리가 밀어서 모여버림) 40분간 엔도가스(endogas)분위기에서 소결한 후 두 종류의 열처리를 하였다<sup>(4)</sup>. 열처리 조건은 Table 2와 같다.

### 3. 시편실험 및 결과

상당한 인성과 내구성을 갖추어야 하는 Spline Hub의 기계적 성능을 알아보기 위해 3 종류의 분말로서 각각 시험편을 제작하여 기계적 성능을 비교, 평가하였다. 각각의 시험편은 무처리, 플라즈마 질화처리, 침탄 및 템퍼링하여 실험하여 기계적 성능으로는 인장강도, 압환강도, 충격치, 경도를 측정하였으며 무처리재 시험편의 조직사진을 통해 3 종류의 분말을 조직학적으로 비교 및 검토하였다.

#### 3.1 실험방법 및 시험규격

인장실험은 JIS Z 2241를 토대로 하여 최대용량 10ton의 Instron model No.8516을 이용하여 실시하였다. 압환실험은 최대용량 25ton의 Tensilon을 이용하였으며 규격은 JIS Z 8401을 토대로 하였다. 충격실험은 Sharpy Type Impact Tester(KD 1-300-2)를 사용하여 JIS Z 2242를 토대로 하였으며 충격치는 인성과 관계가 깊으므로 충격시험의 가공은 면밀하게 가공하였다. 경도측정은 로크웰 경도기(HRB)를 사용하여 충격시험에 9개의 표점을 취하여 측정하였다. 조직검사는 1500번까지의 사포로 연마한 후 버핑기로 최종 연마하여 5%의 나이탈(Nital) 부식액에 부식시켜 광학 현미경(OLYMPUS B201)을 이용하여 촬영하였다.

각 실험에 따른 시험편의 규격은 JIS Z 2550을 토대로

하였다. 열처리 조건에 따라 무처리재, 플라즈마 질화처리재, 침탄 및 템퍼링재를 각각 No, P-N, C-T로 표에서 표기하였다.

#### 3.2 결과 및 고찰

인장실험 결과, 무처리재의 경우 인장강도는 재료 A, 재료 B, 재료 C의 순으로 크게 나타났으며, 연신율에서는 분말 B가 가장 크게 나타났다.

플라즈마 질화처리재의 경우는 인장강도는 무처리재와 거의 비슷하였고, 연신율은 다소 줄었음을 알 수 있다. 그러므로, 플라즈마 질화처리로서는 강도면에서 충분한 열처리 효과를 기대할 수 없음을 알 수 있다. 침탄 및 템퍼링재의 경우는 전체적으로 연신율은 다소 줄었으나 강도는 상당히 증가하였음을 알 수 있다. 그러므로, 열처리 방법으로는 침탄 및 템퍼링이 플라즈마 질화처리보다 제품이 요구하는 성능에 적합하며 분말의 종류에 있어서는 강도와 연신율을 종합하여 비교하여 볼 때 재료 B가 C에 비해 손색이 없음을 알 수 있다. Fig.2는 인장실험 결과이다. 충격실험 결과, 재료 A의 충격치가 가장 낮게 나타나 스프라인 허브의 가혹한 반복 하중을 견디기에는 힘들 것으로 판단되며, 재료 C가 B보다 약간 높게 나타났다. 충격치의 평균치를 Table 3에 나타내었다.

압환실험 결과도 분말 B와 C는 큰 차이가 없으나, 분말 A는 상당히 떨어짐을 알 수 있다. 압환강도, K 값의 평균치를 Table 4에 나타내었다.

경도측정 결과 플라즈마 질화처리재는 무처리재와 그다지 차이가 없고 침탄 및 템퍼링재의 경도가 높게 나타났다. 그러므로, Spline Hub의 사용조건을 볼 때 침탄 및 템퍼링 처리를 하여야 충분한 내마모성을 가질 수 있을 것으로 판단된다. Fig 3은 경도측정 결과이다.

Table 1 Chemical composition of powders

Powders	Chemical Composition
A	Fe // C: 0.8 // Cu: 2.8
B	Fe//C:0.5//Cu:1.5//Mo:0.5//Ni:4.0
C	Fe//C:0.5//Cu:2.0//Mo:1.5//Ni:4.0

Table 2 Conditions of Heat Treatments

Heat treatments	Conditions
Plasma-Nitriding	Nitriding(510℃ × 4hr.) → Glowing(510℃ × 0.5hr.)
Carburizing-Tempering	Carburizing(850℃ × 2hr.) → Tempering(200℃ × 0.5hr.)

Table 3. Result of Impact Tests.

Material A		Material B		Material C	
P-N	C-T	P-N	C-T	P-N	C-T
3.8290	3.8379	3.6424	1.7754	1.9759	3.8987

[unit ; kgf · m]

Table 4. Results of Compression Ring Tests.

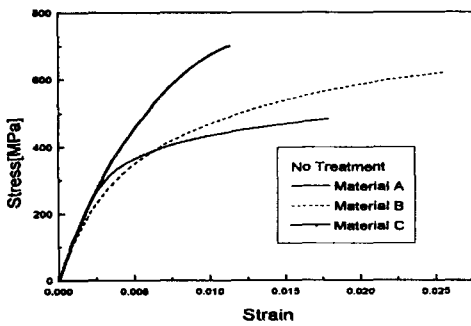
Material A			Material B			Material C		
No	P-N	C-T	No	P-N	C-T	No	P-N	C-T
1888	1763	2390	1500	1511	1699	2181	1756	2456

[unit ; MPa]

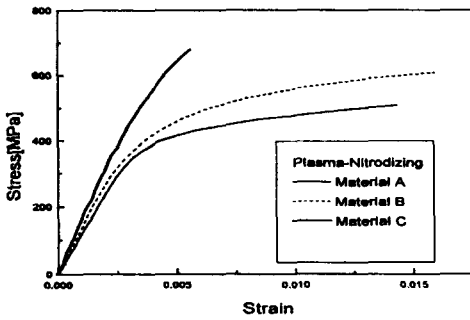
조직사진 분석 결과, 재료 A는 퍼얼라이트와 페라이트가 혼재해 있고, 재료 B는 퍼얼라이트와 페라이트기지에 Ni-rich층이 분포하고 있음을 알 수있다. Ni은 철내에서 확산속도가 비교적 느리므로 Ni-rich층은 연성이 풍부하여 재료의 연성을 높이는 데 크게 기여하고 있음을 알 수 있다<sup>(6)</sup>. 재료 C는 B보다 Ni-rich층이 더 넓게 분포되어 있고 퍼얼라이트 조직이 넓은 편상으로 분포되어 각 조직상의 경계부분이 취약하여 연신을 저하의 주요인이 됨을

알 수 있다. 따라서 Ni-rich층과 퍼얼라이트 조직이 미세하고 고르게 분포되어 있는 B 조직이 인성 면에서 가장 우수하며 가혹한 피로 하중 환경 하에서 가장 유리할 것으로 판단된다.

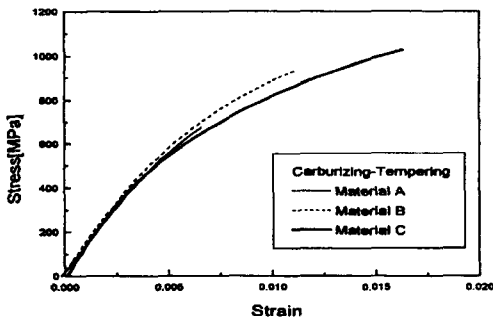
재료 A는 공정 조직에 가까울 정도로 퍼얼라이트 비율이 높아 연신율이 B 보다 낮으며 인장강도도 낮게 나타나고 충격치, 압환강도 등도 낮게 나타나는 것으로 판단된다. Fig 5에 각 재료의 소결후의 조직사진을 나타내었다.



(a) No treatment

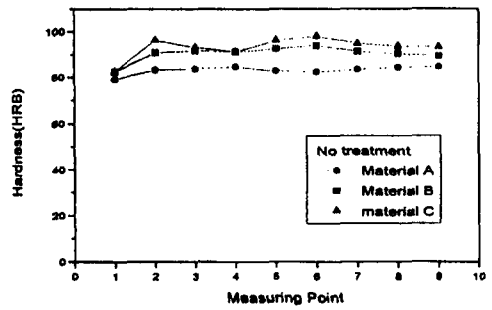


(b) Plasma-nitrided

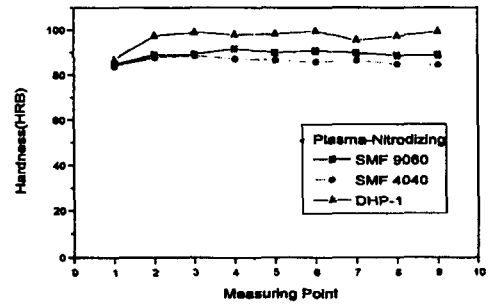


(c) Carburized and Tempered

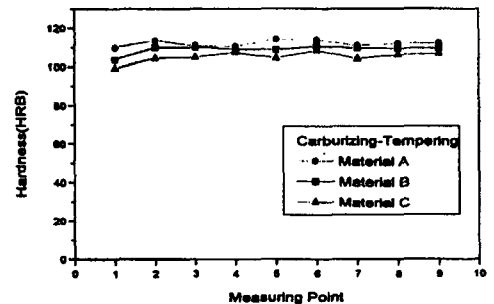
Fig. 2 Results of Tensile Test



(a) No treatment

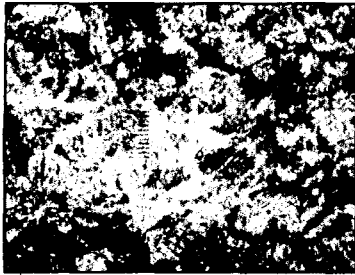


(b) Plasma-Nitrided



(c) Carburized and Tempered

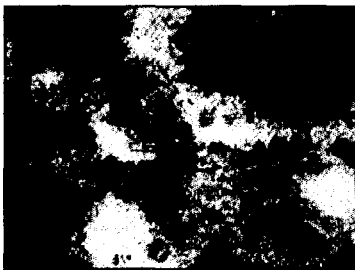
Fig. 3 Hardness distributions after Heat Treatment



(a) Material A



(b) Material B



(c) Material C

Fig. 4 Microstructure of Material( $\times 400$ )

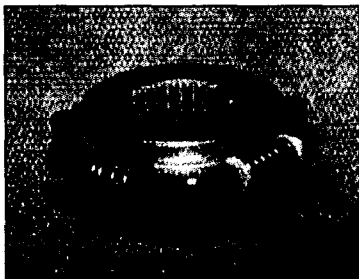


Fig. 5 Spline Hub

#### 4. 시제품 실험 및 결과

시편실험 결과를 종합적으로 판단하여 볼 때 재료 B가 내구 성능면에서 가장 유리할 것으로 판단되며, 더욱이 가격 경쟁력에서 재료 B가 C보다 우수하므로 재료 B로써 Fig.5와 같은 시제품을 제작하여 회전방향 내구 실험을 실시하였다. 그리고, 기존의 단조품과의 비교를 위해 경도측정과 조직사진을 촬영하였다.

##### 4.1 시제품 실험방법

클러치 디스크 스플라인 허브는 트랜스미션의 인풋 샤프트(Input Shaft)에 장착되어 엔진에서 발생하는 동력을 받아 트랜스미션으로 전달하는 과정에서 내구력과 인성이 요구되는 주요 부품이기 때문에 회전방향 내구 실험을 실시 하였다. 내구시험의 실험 장비 및 구동 토크의 특성곡선을 Fig.6과 Fig.7에 나타내었다.

경도측정은 부품의 이(teeth)부위를 절단하여 그 단면에 선을 따라 이부위에서부터 스프라인 부쪽으로 0.5

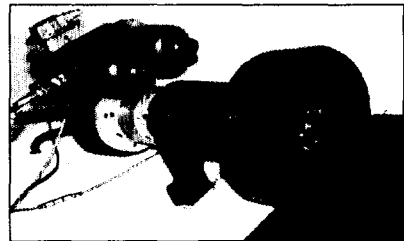


Fig. 6 Experimental apparatus for Torsional Durability Test of Clutch Disc

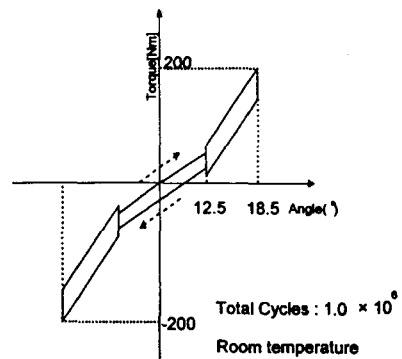


Fig. 7 Torsional characteristics of clutch disc

mm간격으로 마이크로 비커스 경도기로 측정하였다. 이때 경도측정 하중은 200gf로 하였다.

조직사진은 이부위의 단면을 광학 현미경(OLYMPUS B201)을 이용하여 촬영하였으며, 부식액은 5%의 나이탈(Nital) 부식액을 사용하였고 연마는 1500번까지의 사포로 연마한 뒤 버핑기로 최종 연마하였다.

#### 4.2 결과 및 고찰

회전방향 내구실험을 실시한 결과 분말 야금 제품이 단조제품보다 내마모 측면에서 훨씬 우수함을 알 수 있었다. 특히 침탄 표면처리를 한 시제품의 내마모성이 우수하여 마모측면에서는 내구성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

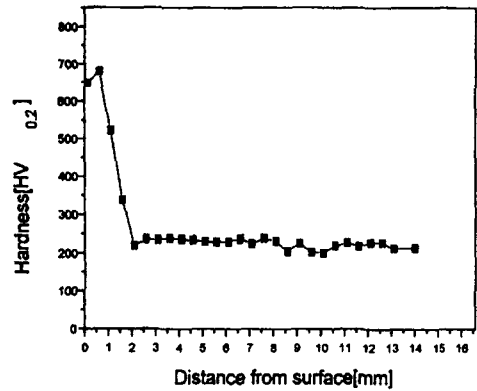
경도측정 결과 기존 단조제품이 부품 내부에서 균일한 분포를 이루고 있는 반면 분말 야금 시제품은 어느정도 편차를 보인다. 그러나 경도의 절대값 자체는 분말 야금 제품이 더 크다. 그리고 주목할 만한 것은 기존 단조제품의 경화부가 대략 2-2.5mm 정도인 데 반해 분말 야금 시제품의 경우 침탄에 의한 경화부가 대략 10-10.5mm로서 거의 5배 정도이며 경도값의 산포가 다소 나타나고 있으나 침탄층 이후에는 산포의 정도가 상당히 낮음을 알 수 있다. 이러한 현상은 재료 B의 조직상태로 보아 Ni이 확산된 조직이 여러 곳에 산재하기 때문에 측정영역이 좁은 마이크로 비커스 경도 측정 시에 산포가 크게 나타난 것이다.

경화층이 깊게 나타난 것은 내부에 공극이 존재하기 때문인 것으로 판단되며 경화영역이 깊으나 그 부분에도 Ni-rich 페라이트에 의한 완충작용이 상당할 것이므로 어느 정도의 인성은 확보할 수 있을 것으로 판단된다<sup>(7)</sup>. Fig 3은 기존 단조제품과 분말 야금 제품의 경도측정 결과이다.

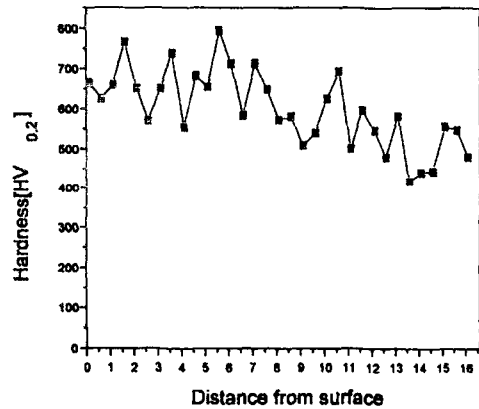
조직검사 결과 기존 단조제품은 초석 페라이트 이외에는 대체로 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 분말 야금 제품에 비해 균일하게 분산되어 있는 것으로 나타났고, 분말 야금 제품은 Ni-rich 페라이트 조직이 비교적 넓게 분포되어 있음을 알 수 있다.

분말 야금 제품의 Ni-rich 페라이트 또는 Ni-rich 마르텐사이트 조직이 비교적 취성이 크게 나타나는 퍼얼라이트부와 템퍼드 마르텐사이트 부분과 섞여서 인성을 높여 주고 있는 것으로 판단된다.

특이한 사항은 침탄부의 조직이 일반강과는 달리 뚜렷이 나타나지 않는다는 점이다. 이것은 침탄되어진 탄소가 일반강에서처럼 시멘타이트( $Fe_3C$ )를 형성하지 않고, 공



(a) Forged Disc



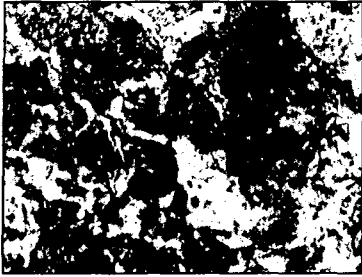
(b) Sintered Disc

Fig. 8 Hardness Distribution in Forged and Sintered Products

극속으로 흡수되기 때문인 것 같다. 이로 인해 일반강과는 달리 침탄으로 인한 경화부와 비경화부의 조직상의 차이는 크게 나타나지 않았다. Fig.9는 기존의 단조제품과 분말 야금 제품의 조직사진이다.

#### 5. 결 론

기존에는 냉간 단조로 제작하던 스프라인 허브를 분말 야금으로 대체하기 위하여 3 종류의 재료를 이용하여 실험 및 연구한 결과 재료 B가 기계적 성능과 가격면에서 우수하여, 재료 B로서 시제품을 제작하여 내구시험을 한 결과 기존의 냉간단조제품에 비해 내구성이 우수한 것으로 판명되었다. 이상의 결과를 정리하면 다음과 같다.



(a) Forged Disc



(b) Sintered Disc

**Fig. 9 Comparison of the Microstructure of Forged and sintered Products**

1. 인장실험 결과 무처리재와 플라즈마 질화처리 (Plasma-Nitriding)재는 비슷한 결과를 보였으며 재료 C의 인장강도는 높았으나 연신율이 아주 낮았다. 침탄 및 템퍼링 (Carburizing-Tempering) 처리재는 재료 B와 C가 비슷한 결과를 보여 주었다. 압환시험, 충격시험 결과는 재료 A가 훨씬 떨어졌으며 재료 B와 C는 비슷한 결과를 보여 주었다.
2. 시편 경도측정 결과는 침탄 및 템퍼링처리된 재질의 경도가 무처리재나 플라즈마 질화처리재보다 높은 결과를 보여주었고, 무처리재와 플라즈마 질화처리재는 비슷한 결과를 보였다. 침탄처리재의 경우 강도와는 반대로 재료 A의 경도가 가장 크게 나타났다.

3. 재료 B로 제작된 분말 야금 시제품의 회전방향 내구 시험 결과 기존 단조품보다 우수한 성능을 나타내었다.
4. 분말 야금 시제품의 경도분포의 산포가 다소 나타났으나, 기존 단조품과 비교하여 전반적으로 높은 경도를 나타내었고 침탄층이 상당히 깊게 나타났다.
5. 분말 야금 시제품의 조직은 기존 단조품의 초석 페라이트 조직보다 넓은 Ni-rich 조직이 나타났다. 이 조직에 의해 취성이 큰 것으로 알려진 분말야금 부품의 인성이 증가한 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 日本 粉末冶金技術協會, “粉末冶金·燒結機構”, 清文閣, P 4~9, 1996.
2. H. Sychra, B. Weiss and R. Stickler, “Porosity Influence on Dynamic Properties of PM Steels”, Metal Powder Report, Vol.44, 1989.
3. Höganäs AB, “Powder Forging”, Metal powder Report, Vol, No.2, 1983.
4. German. R. M., “Powder Metallurgy Science”, Princeton, NJ, MPIF, 1984.
5. K. Linder & C. M. Sonsino, “How Sintering Time and Temperature Influence Fatigue”, Metal Powder Report, Vol.49, no. 5, 1994.
6. B. Lindqvist, “Influence of Microstructure and Porosity on Fatigue Properties of Sintered Steels”, Metal Powder Report, Vol. 44, no. 6, 1989.
7. S. Willianma and D. Haynes, “Effect of Porosity on the Fatigue Behavior of Sintered Precipitated Nickel Powders”, Powder Metallurgy, Vol. 16, no. 32, 1973.