

클러치 디스크용 분말야금 스플라인 허브의 기계적성질에 관한 연구

Study on the Mechanical Properties of Powder Metallurgy Spline Hub for Clutch Disc

최 문 일*, 장 진 호**, 강 성 수***
M. I. Choi, J. H. Jang, S. S. Kang

ABSTRACT

In automotive industries, various processes for the cost reduction have been investigated lively. As one of them, powder metallurgy becomes influential. Compared to other methods used for the manufacture of steel components the Powder metallurgy process is competitive primarily due to the small number of production steps to reach the final geometry and thereby also the energy-efficiency. In this paper, to alter present forging process into powder metallurgy process by which the automotive clutch disc spline hub is manufactured machining process, the mechanical properties of sintered materials is investigated by specimen test. Selecting the 3 kinds of materials-SMF 4040, SMF 9060 and DHP-1, their properties according to heat treatment such as carburizing-tempering and plasma-nitriding are compared. By result of specimen test - tensile test, compression ring test, Impacting test, measurement of hardness, and microstructure analysis - we concluded that SMF 9060 and carburizing-tempering heat treatment is an optimal material and heat treatment method for the spline hub. It will be able to reduce manufacturing cost and weight.

주요기술용어 : Powder Metallurgy(분말야금), Compaction(성형), Sintering(소결), Net Shape(정형), Plasma-Nitriding(플라즈마-질화처리), Carburizing-Tempering(침탄 및 템퍼링)

1. 서 론

자동차 산업체에서는 부품 제조원가 절감을 통

한 차량 가격경쟁력 확보와 배기가스 규제강화에 대비한 연비개선 효과를 동시에 충족시키고자 경량재료를 이용한 신제조공법의 개발을 활발히 진행시키고 있다. 이의 한 방법으로 분말야금기술에 의한 자동차 부품제조를 들 수 있는데, 분말야금이란 금속 분말의 제조 및 금속 분말(비금속 분말

* 정회원, 창원전문대학 자동차과

** 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

을 배합하는 경우를 포함)의 성형과 소결에 의한 재료 또는 제품의 제조에 관한 기술이다.¹⁾ 즉, 분말야금 기술은 금속 원료 분말을 사용하여 원하는 제품의 형태로 성형한 다음 적정 온도에서 소결하여 필요한 금속 제품을 제조하는 기술을 말한다. 분말야금법에 의한 소결 부품은 원료 분말을 혼합하여 성형, 소결의 공정을 거쳐 제조되기 때문에 재질과 형상의 선택 범위가 넓으며 비교적 정밀도가 높은 제품의 생산이 가능하며 최대 장점은 원료 분말이 금형 내에서 압축에 의해 거의 최종 제품의 형태(Net shape)로 되기 때문에 절삭가공을 생략할 수 있어 상당한 공정의 단축을 기대할 수 있다는 것이다.^{2,3)}

국내 및 선진국에서 생산되는 전체 소결 부품 중 자동차 소결 부품이 차지하는 비중은 60~80% 정도로 매우 높으며 자동차 대당 사용되는 소결 부품의 총량은 북미 승용차의 경우 평균 12kg, 일본의 경우 5.9kg, 유럽이 4.7kg, 국내가 4.5kg 정도로, 국내의 경우 아직은 적용비율이 낮지만 매년 증가하고 있다.

본 연구에서는 현재 냉간단조법으로 제조되고 있는 자동차 클러치용 스플라인 허브(spline hub) 부품을 분말야금기술로 시험편을 제조하고 그것의 성능 및 기계적 특성을 고찰해 봄으로써 제조공정의 단순화와 원가절감을 위한 대체 적용 가능성을 검토하였다. 따라서 실험적 연구의 주안점은 공극(pore)을 내포하고 있는 분말야금품의 예상되는 인성(toughness)의 저하를 분말의 선정 및 제조공정의 최적화를 통하여 공극의 크기를 작게 조정함으로써⁴⁾ 최소화시키고자 하였다. 그리고 스플라인 허브에는 높은 토크가 작용하기 때문에 충분한 강도의 확보를 위하여 분말 단조공정이 필

요하나 기존 분말가공의 공정 조절만으로 이를 충족시키므로써⁵⁾ 추가적인 제조원가 절감을 도모하였다.

3종류의 분말을 선택, 열처리하지 않은 것과 열처리한 것의 두 종류 인장, 충격, 압환 시험을 만들어 비교 시험하고 조직검사를 실시하였다.

2. 실험 방법

분말야금법에서 원료 분말의 선정은 가장 기본적인 중요 항목이다. 따라서 분말 선정시 반드시 고려되어야 할 특성중 먼저 물리적 성질에는 입도와 입도분포, 입형 및 구조, 결보기 밀도, 비밀도, 유동성, 압축성, 성형성 등이 있으며, 분말 야금에 사용되는 입자의 크기는 보통 $10^{-1} \sim 10^3 \mu\text{m}$ 의 것이 사용된다. 화학적 성질은 일반 금속의 경우와 동일하나 분말이기 때문에 특히 주의해야 할 것은 산화물 혹은 산화피막이다. 또한 분말은 여러 가지 가스를 괴상금속보다 많은 양을 흡수 또는 흡착한다. 분말에 있어서 고형 불순물로는 크게 이물질 입자, 금속분말 입자에 포함되어 있는 이물질, 금속분말 입자 표면의 이물질, 금속분말 입자내에 화합 또는 고용된 이물질 등으로 나눌 수 있다.⁶⁾

본 연구에서는 분말원가와 고인성을 고려하여 SMF 4040, SMF 9060, DHP-1의 3종류 원료 재질을 사용하여 각각의 분말을 성형압 690MPa, 성형 밀도(green density) $7.0\text{g}/\text{cm}^3$ 이상으로 성형한 후 구리가 녹아서 입자들 사이로 스며들 수 있도록 구리의 용점보다 다소 높은 $1,100^\circ\text{C}$ 에서 40분간 endogas분위기에서 소결한 후 각각의 충격, 인장, 압환의 시험 시험편을 제작하였다. 다시

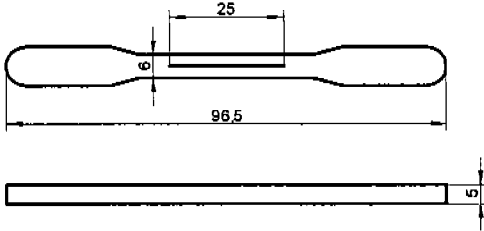
Table 1 Chemical compositions of raw materials

SMF 4040	Chemical Composition	Fe //C: 0.7~1.0 //Cu: 2.5~3.5
	Raw material Composition	300M(Fe) + 0.8CPB(C) + 2.8ACu(Cu)
SMF 9060	Chemical Composition	Fe //C: 0.5~0.9 //Cu: 1.0~2.0 //Mo: 0.2~0.8// Ni: 3.0~5.0
	Raw material Composition	DAE (Fe+1.5Cu+0.5Mo+4.0Ni+0.5CPB(C))
DHP-1	Chemical Composition	Fe //C: 0.5~0.9 //Cu:1.8~2.2 //Mo: 1.3~1.5 //Ni: 3.6~4.4
	Raw material Composition	DHP-1(Fe-2.0Cu+1.5Mo+4.0Ni)+0.5CPB(C)

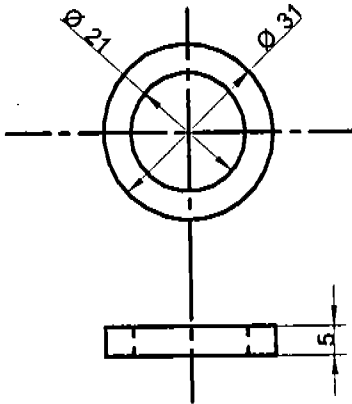
그 시편을 무처리한 것과 510℃에서 4시간동안 플라즈마 질화처리(plasma-nitriding)한 것, 850℃에서 2시간 침탄(carburizing) 및 200℃에서 0.5시간 템퍼링(tempering)한 것으로 분류하였다.⁷⁾ 원료 분말의 화학적 조성 및 원재료 조성은 Table 1과 같다.

인장 및 압편, 충격실험을 위한 시편의 규격은

- Tensile specimen



- Compression ring specimen



- Impact specimen

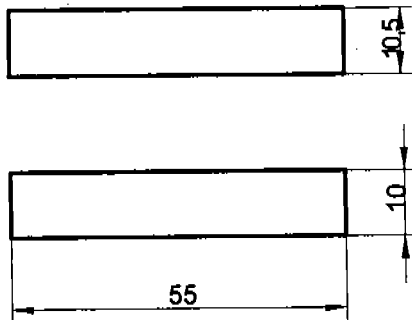


Fig.1 The specifications of specimen

JIS Z 2241, 8401, 2242이고 Fig.1에 나타내었다. 각각의 시험장비는 Instron model No.8516, 25ton Tensilon, Sharpy Type Impact Tester (KD1-300-2)를 이용하였으며 경도측정은 로크웰 경도기를 사용, 충격시편에 9개의 표점을 취하여 측정하였다. 조직검사는 5%의 나이탈(Nital) 부식액에 부식시켜 광학 현미경(OLYMPUS B201)을 이용하여 촬영하였으며 시편의 규격은 JIS Z 2550을 참고하였다.

3. 실험결과 및 고찰

상당한 인성과 내구성을 갖추어야할 스플라인 허브의 기계적 성능을 알아보기 위해 SMF 4040, SMF 9060, DHP-1의 시험편을 각각 제작하여 기계적 성능을 비교, 평가하였다. 각각의 시편은 무처리, 플라즈마 질화처리, 침탄 및 템퍼링하여 실험하였으며, 기계적 성능으로는 인장강도, 압편강도, 충격치, 경도를 측정하였다.

Fig.2는 무처리 소결 인장시편편의 인장시험 결과이다. 인장응력은 DHP-1이 750MPa, SMF 9060이 630MPa, SMF 4040은 500MPa로 DHP-1이 가장 크게 나타났다. 연신율에 있어서는 SMF 9060이 2.5%로 가장 크게 나타났으며 SMF 4040은 1.7% 정도, DHP-1이 1.3%로 가장 낮게 나타났다. Fig.3은 플라즈마 질화처리 시편편의 시험결과를 나타낸다. 인장강도는 무처리재와 비슷하였고, 연신율은 다소 줄었음을 알 수 있다. 그러므로, 플라즈마 질화처리로서는 충분한 열처리 효과(강도 향상)를 기대할 수 없음을 알 수 있다.

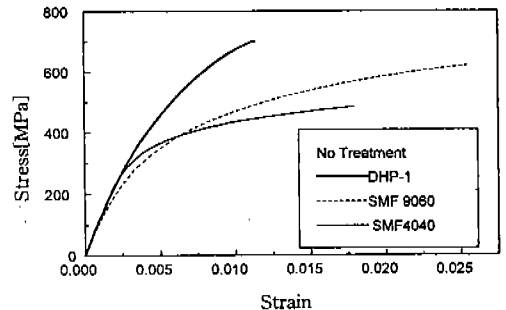


Fig.2 Tensile test result of no treatment specimen

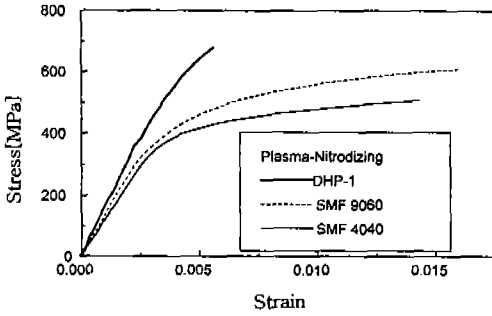


Fig.3 Tensile test result of plasma-nitriding specimen

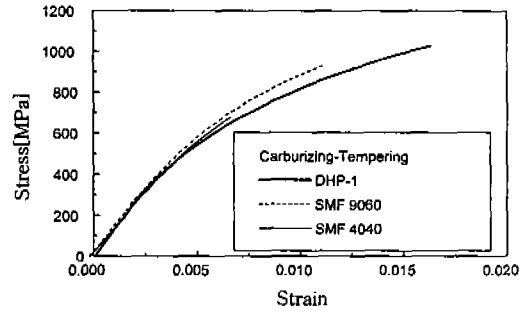


Fig.4 Tensile test result of carburizing-tempering specimen

Table 2 Result of impact test

[Unit : kgf · m]

SMF 9060				SMF 4040				DHP1			
Plasma-Ni		C-Temp		Plasma-Ni		C-Temp		Plasma-Ni		C-Temp	
β	E	β	E	β	E	β	E	β	E	β	E
89.5	3.5276	91	3.0212	88.5	3.8652	92	2.6837	95	1.6730	94	2.0095
90	3.3588	87.9	4.0676	89.3	3.5951	91.5	2.8525	94	2.0095	88	4.0338
85.5	4.8764	89	3.6964	90	3.3588	98	0.6668	94	2.0095	86	4.7081
87	4.3711	89	3.6964	89	3.6964	96	1.3369	94	2.0095	87	4.3711
91	3.0212	86	4.7081	89	3.6964	96	1.3369	93.5	2.1780	87	4.3711
Aver.	3.8290	Aver.	3.8379	Aver.	3.6424	Aver.	1.7754	Aver.	1.9759	Aver.	3.8987

Fig.4는 침탄 및 템퍼링한 시험편의 결과를 보여주고 있다. 전체적으로 연신율은 다소 줄었음을 알 수 있으나 강도는 상당히 증가하였음을 알 수 있다.

이상의 결과를 놓고 볼 때 시험의 처리조건으로는 침탄 및 템퍼링이 플라즈마 질화처리보다 제품이 요구하는 성능에 적합하며, 시험의 종류에 있어서는 강도와 연신율을 종합하여 비교해 볼 때 침탄 및 템퍼링재의 경우 SMF 9060과 DHP-1이 비슷한 성능을 보이나 SMF 9060이 DHP-1에 비해 손색이 없음을 알 수 있다.

Table 2는 충격시험 결과를 나타내고 있다. SMF 4040이 충격시험결과 가장 낮게 나타나서 클러치 스플라인 허브의 가혹한 반복 하중을 견디기에는 힘들 것으로 판단된다. DHP-1이 SMF 9060보다 약간 높게 나타났으나 그다지 큰 차이는 나타나지 않았다. 따라서, SMF 9060으로 공정조건을

잘 찾아서 제작하면 DHP-1에 필적하는 성능을 보일 수 있으리라 판단된다.

◆ 충격치 계산식

$$E = W \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha)$$

여기서, W=해머중량(25.79kgf)

R=해머의 회전축 중심선으로부터 중심까지의 거리(0.75 m)

α =해머를 끌어올린 각(100°)

β =시험편 절단후의 해머의 상승각도(측정치)

Table 3은 압환시험 결과이다. 아래의 값들은 압환강도의 평균값을 나타낸다. 압환시험 결과도 SMF 9060과 DHP-1은 비슷한 결과를 보여주고 있으며, SMF 4040은 상당히 떨어지고 있음을 알 수 있다.

◆ 압환강도 계산식 : $K = \frac{P(D-T)}{L \cdot T^2}$

Table 3 Result of compression ring test

[Unit : MPa]

SMF 9060						SMF 4040						DHP-1					
No		Pl-Ni		C-Tem		No		Pl-Ni		C-Tem		No		Pl-Ni		C-Tem	
P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K
925	1886	850	1733	1210	2466	775	1580	750	1529	825	1682	1005	2049	730	1488	1233	2513
980	1998	795	1621	1230	2507	725	1478	740	1508	925	1886	1060	2161	900	1835	1262	2572
870	1773	910	1855	1163	2371	725	1478	740	1508	820	1671	1125	2293	867	1767	1185	2416
980	1998	920	1875	1050	2140	730	1488	740	1508	850	1733	1035	2110	868	1769	1150	2344
875	1784	850	1733	1210	2466	725	1478	737	1502	750	1524	1125	2293	943	1922	1195	2436
1887.8		1763.4		2390.0		1500.4		1511.0		1699.2		2181.2		1756.2		2456.2	

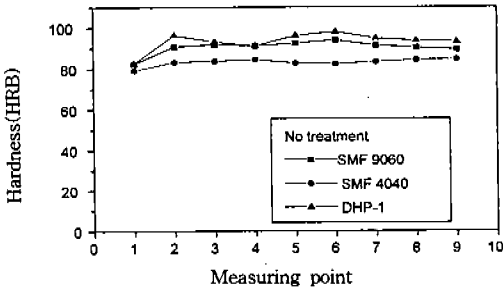


Fig.5 Hardness variation of no treatment specimen

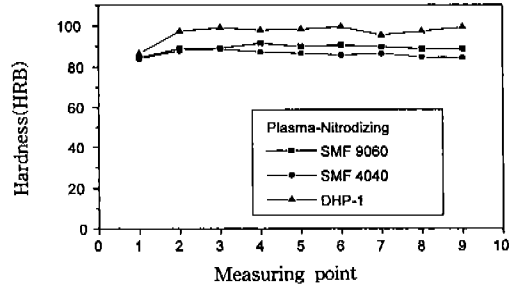


Fig.6 Hardness variation of plasma-nitriding specimen

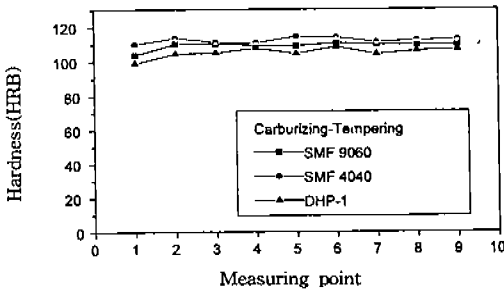


Fig.7 Hardness variation of carburizing-tempering specimen

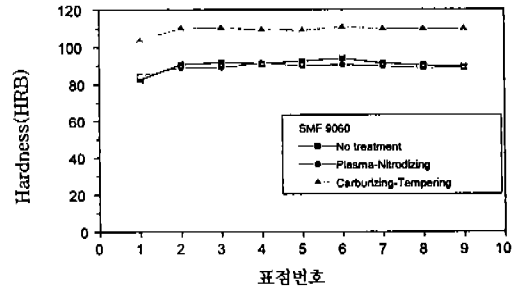


Fig.8 Hardness variation of SMF 9060 specimen

여기서, K : 압환강도(N/mm²)

P : 측정하중(kg)

L : 링의 폭(5mm)

T : 링의 두께(5mm)

D : 링의 외경(31mm)

본 시편이 소결품임을 감안하여 경도분포의 불균일은 어느정도 예상하였으나 측정결과 측정위

차에 따라 많은 차이를 보였다. 이러한 소결품의 경도 불균일은 앞으로 개선해야 할 부분으로 판단된다. Fig.5~8은 충격시편의 가운데 부분을 로크웰 경도기(HRB)로 측정한 결과이다. 측정결과를 보면 플라즈마 질화처리재는 무처리재와 그다지 차이가 없고 침탄 및 템퍼링재의 경도가 높게 나타났다. 스플라인 허브의 사용조건을 볼 때 침

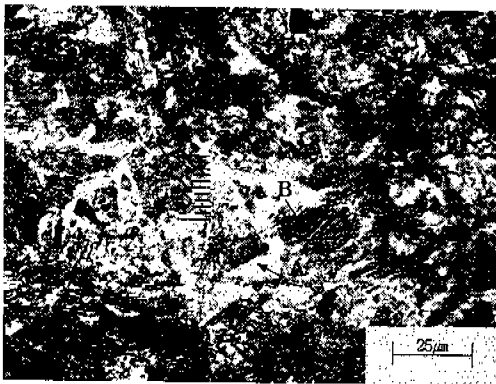


Fig.9 Microstructure of SMF 4040

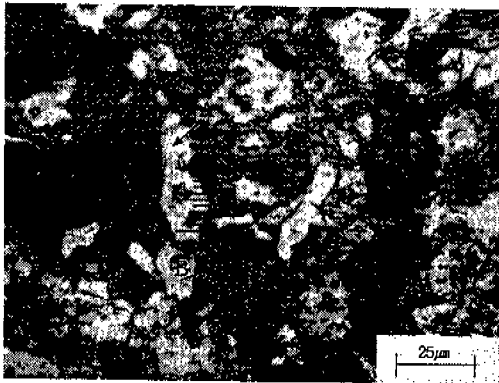


Fig.10 Microstructure of SMF 9060

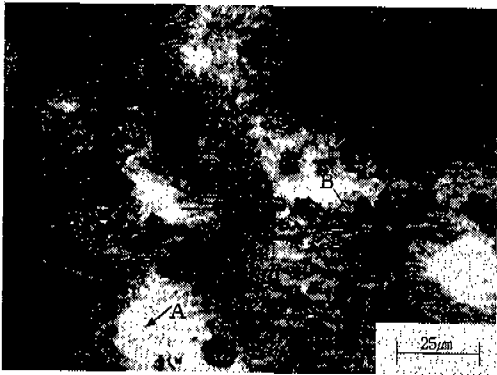


Fig.11 Microstructure of DHP-1

9060조직은 펄라이트와 페라이트기지에 Ni-rich층이 분포하고 있음을 알 수 있다. Ni은 철내에서 확산속도가 비교적 느리므로 Ni-rich층은 연성이 풍부하여 재질의 연성을 높이는 데 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.^{8,9)}

DHP-1은 SMF 9060보다 Ni-rich층이 더 넓게 분포되어 있고 펄라이트 조직이 넓은 편상으로 분포되어 각 조직상의 경계부분이 취약하여 연신을 저하의 주요인이 됨을 알 수 있다. 따라서 Ni-rich층과 펄라이트 조직이 미세하고 고르게 분포되어 있는 SMF 9060 조직이 인성 면에서 가장 우수하며 가혹한 피로 하중 환경 하에서는 가장 유리할 것으로 판단된다.¹⁰⁾

SMF 4040은 공정 조직에 가까운 정도로 펄라이트 비율이 높아 연신율이 SMF 9060보다 낮으며, 인장강도도 낮게 나타나고 충격치, 압환강도 등도 낮게 나타나는 것으로 판단된다.¹¹⁾

Fig.9, Fig.10, Fig.11에 각각의 조직사진을 나타내었다. 조직사진에서 기호 A와 B는 Ni-rich 페라이트와 펄라이트를 각각 나타낸다.

4. 결 론

- 1) 인장시험 결과, 무처리재와 플라즈마 질화처리재는 비슷한 결과를 보였으며 DHP-1재의 인장강도는 높았으나 연신율이 아주 낮았다. 침탄처리재는 SMF 9060과 DHP-1이 비슷한 결과를 보여 주었고 압환시험, 충격시험 결과는 SMF 4040이 훨씬 떨어졌으며 DHP-1재와 SMF 9060은 비슷한 결과를 보여 주었다. 침탄처리재의 경우 침탄이 심부까지 이루어져 강도향상에 크게 기여하고, 플라즈마 질화처리의 경우 그 효과가 표면에 국한되므로 강도에 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.
- 2) 경도시험 결과는 침탄처리된 재질의 경도가 무처리재나 플라즈마 질화처리재보다 높은 결과를 보여주었고, 무처리재와 플라즈마 질화처리재는 비슷한 결과를 보였다. 침탄처리재의 경우 SMF 4040의 경도가 가장 크게 나타났다. 이는 탄소원자의 확산이 확산 합금 분말보다 더 유리하게 이루어진 결과로

탄 및 템퍼링처리를 하여야 충분한 내마모성을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

조직사진 분석 결과, SMF 4040은 펄라이트(pearlite)와 페라이트(ferrite)가 혼재해 있고 SMF

판단된다.

3) SMF 9060 시편의 경우, 비교적 우수한 기계적 특성을 나타내어 평가기준을 만족시켰고 17g의 중량 감소와 절삭가공을 위시한 공정의 단축이 가능하여 제조원가를 크게 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

4) Ni은 철내에서 확산속도가 비교적 느리므로 Ni-rich층은 재질의 연성을 높이는 데 기여한다. 따라서 Ni-rich층과 퍼얼라이트 조직이 미세하고 고르게 분포되어 있는 SMF 9060 조직이 인성 면에서 가장 우수하다.

이상과 같은 결과에 의해 SMF 4040, SMF 9060, DHP-1의 3가지 재질중 SMF 9060이 가장 유리한 재질이고, 열처리 방법은 침탄 및 템퍼링 처리가 높은 강도를 요구하는 부품에 적당한 방법으로 판단된다. 분말 야금에 의한 자동차용 클러치 스플라인 허브의 부품제조시 기존 단조품에 필적하는 기계적 특성을 가진 제품의 생산은 가능하다고 판단되고 절삭가공 공정 삭감으로 인한 제조원가의 절감 또한 가능하여 자동차 부품의 경량화 및 가격 경쟁력 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. K.Kreider and M. Marciano, "Metallurgical society of AIME", Vol. 245 pp. 1279~1286, 1989.

2. D. L. MacDanel, "Metal Trans", 16 A-1105, pp. 110~119, 1985.
3. 日本粉末冶金技術協會, "粉末冶金·燒結機構", 清文閣, pp. 4~9, 1996.
4. H. Sychra, B. Weiss and R. Stickler, "Porosity Influence on Dynamic Properties of PM Steels", Metal Powder Report, Vol. 44, 1989.
5. Höganäs AB, "Powder Forging", Metal powder Report, Vol, No. 2, 1983.
6. German. R. M., "Powder Metallurgy Science", Princeton, NJ, MPIF, 1984.
7. K. Linder & C. M. Sonsino, "How Sintering Time and Temperature Influence Fatigue", Metal Powder Report, Vol. 49, No. 5, 1994.
8. B. Lindqvist, "Influence of Microstructure and Porosity on Fatigue Properties of Sintered Steels", Metal Powder Report, Vol. 44, No. 6, 1989.
9. S. Willianma and D. Haynes, "Effect of Porosity on the Fatigue Behavior of Sintered Precipitated Nickel Powders", Powder Metallurgy, Vol. 16, No. 32, 1973.
10. 關口秀夫, "新素材の加工", 27-300, 日本精密工學會, pp. 45~53, 1986.
11. 熱處理研究會, "機械部品の熱處理", 技術研究社, pp. 396~403, 1993.