

터보차저 노즐 슬라이드 조인트의 정형공정에 관한 연구

김봉주¹, 이선봉^{2*}

¹계명대학교 일반대학원 기계공학과, ²계명대학교 기계자동차공학과

Study on the shaping process of turbocharger nozzle slide joint

Bong-Ju Kim¹, Seon-Bong Lee^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Keimyung University

²Division of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

요약 터보차저는 배기가스로 구동되는 엔진 과급기를 말하며, 배기 에너지를 이용하여 배기통로에 연결된 터빈의 회전력을 변화시켜, 혼합 가스의 충전효율을 높여 출력과 연비를 향상 시키는 부품이다. 이러한 목적에 따라 과급을 조절해주는 것이 중요하며, 핵심 부품 중 노즐 슬라이드 조인트가 있다. 소재는 현재 오스테나이트 계 스테인리스강으로 높은 내열성과 내식성 등의 우수한 기계적 성질을 이용하고 있다. 그러나 절삭성이 나쁘기 때문에 절삭가공에 의해 복잡한 형상의 제품을 만드는데 어려운 점이 많다. 현재 노즐 슬라이드 조인트의 가공방법은 금속분말 사출성형후 치수정밀도를 위해 절삭가공을 행하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Nitronic 60을 이용하여 터보차저 과급유량을 조절해주는 노즐 슬라이드 조인트의 제작 공정에서 절삭가공이 필요 없는 정형가공 공정을 제안하기 위하여, 기계적 특징에 영향과 연관이 있는 소결온도, 제품의 응력 및 변형률, 형상과 관련이 있는 모따기 펀치각도 및 펀치의 곡률반경을 설계변수로 선정하였다. 그에 따라 유한요소해석과 실험계획법인 다구찌법 및 SN비를 이용하여 가장 좋은 공정 조건을 제안하였다. 최종제품과 유한요소해석 결과의 상대밀도 및 정수압을 비교하여 경향이 일치함을 알 수 있었다. 따라서 다구찌법을 이용한 금속분말의 성형공정 설계에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract A turbocharger is an engine supercharger that is driven by exhaust gas. It improves the output and fuel efficiency by increasing the charging efficiency of the mixture gas, which is achieved by changing the rotatory power of the turbine connected to the exhaust passage. It is important to control the supercharging for this purpose. A nozzle slide joint is one of the core parts. Austenitic stainless steel is currently used as the material for this part, and its excellent mechanical properties include high heat resistance and corrosion resistance. However, because of its poor machinability, there are many difficulties in producing products with complicated shapes. Machining is used in the production of nozzle slide joints for high dimensional accuracy after metal powder injection molding. As design variables in this study, we investigated the sintering temperature, product stress, deformation rate, radius of curvature of the punch, and angle of the chamfer punch, which are related to the strain and shapes. The goal is to suggest a forming process using Nitronic 60 that does not require machining to manufacture a nozzle slide joint for turbocharger. Accordingly, we determined the best process environment using finite-element analysis, the signal-noise ratio, and the Taguchi method for experiment design. The relative density and hydrostatic pressure of the final product were in accordance with the results of the finite element analysis. Therefore, we conclude that the Taguchi method can be applied to the design process of metal powder injection molding.

Keywords : Finite Element Method, Nozzle Slide Joint, Orthogonal Array, Punch Angle, Shaping Process

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력관산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다.

(This research was supported by the Ministry of Trade, industry & Energy(MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the Encouragement Program for The Industries of Economic Cooperation Region.)

*Corresponding Author : Seon-Bong Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-10-5180-5067 email: seonbong@kmu.ac.kr

Received October 4, 2016

Revised November 2, 2016

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

1. 서론

터보차저(turbocharger)는 배기가스로 구동되는 엔진의 과급기를 말하며, 배기 에너지를 배기통로에 마련된 터빈의 회전력으로 변화시켜서 회수하고, 압축기의 흡기계에 마련된 압축기에 의해 혼합 가스의 충전 효율을 높이고 출력 및 연료비를 향상시킨다.

터보차저에서 과급유량을 조절해주는 핵심부품 중 노즐 슬라이드 조인트(nozzle slide joint)는 금속분말사출 성형(MIM, Metal Injection Molding)공정 후 가공하여 제조되고 있다[1].

노즐 슬라이드 조인트의 소재는 스테인리스강으로 높은 내열성과 내식성, 기계적 성질이 좋아 기계부품, 일반생활용품 등 많은 산업에서 사용되고 있으나, 절삭성이 나쁘기 때문에 절삭가공에 의해 복잡한 형상의 제품을 만드는 데 어려운 점이 많다. 그러므로 최근에는 치수의 정밀도가 높고 복잡한 형상의 제품을 단시간에 다량으로 생산할 수 있는 분말야금법이 스테인리스강 제품 생산에 많이 이용되고 있다[2-4].

Lee는 소결조건에 따른 오스테나이트계 316L 스테인리스강의 비균질 미시구조와 재료거동에 관한 연구를 진행하였고, 소결조건에 따른 기계적 물성과 기공률 변화에 중점을 두었다[5]. Min 등은 펀치 노우즈의 곡률반경이 표면확장에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하였으며 [6], Kim 등은 2-step 스텝핑 공정을 제안하여 2차 스텝핑 급형의 설계변수와 유사한 1차 스텝핑 급형을 추가하여 품질을 향상시키는 것에 대한 2중 성형에 의한 금속 판재 딥플(dimple)의 성형성 향상에 관한 연구를 진행하였고[7], Park 등은 냉간단조를 이용하여 자동차 에어백의 핵심 부품인 Housing Lower를 개발하는 과정 중 펀치 형상에 따른 최적 공정 설계에 관한 연구를 진행하였다[8]. 그러나 높은 강도의 기계적 물성을 가지는 스테인리스강을 활용한 제품의 최종형상을 제작하기 위하여 2중 성형을 통해 절삭가공이 요구되지 않는 성형 방법에 대한 연구와 프레스 성형 공정 변수인 모따기 펀치각도와 펀치의 곡률반경에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 오스테나이트계 스테인리스강인 Nitronic 60의 금속을 이용하여 터보차저 과급유량을 조절하는 주요 구성요소 부품인 노즐 슬라이드 조인트 생산의 정형공정에 대한 연구를 실시하고, 공정 변수는 소결온도, 모따기 펀치각도와 곡률반경으로 두었으

며, 실험계획법인 다구찌 법(Taguchi method)을 이용하여 소결분말급속으로 노즐 슬라이드 조인트의 절삭공정을 삭제할 수 있도록 유한요소해석을 통하여 정형 성형 조건을 연구하고자 한다.

2. 유한요소해석

2.1 노즐 슬라이드 조인트 구조

Fig. 1은 스테인리스강인 Nitronic 60 분말 소재로 제작된 노즐 슬라이드 조인트를 나타내었다.

과급유량을 조절하는 핵심 부품 중 하나인 슬라이드 조인트는 터보차저에서 노즐 밴(nozzle vane)을 고정시키는 역할을 한다. 가로 및 세로는 8.86 mm이며 높이는 5.6 mm의 성형품을 이용하여 면취 및 정형공정을 거쳐 최종제품의 형상을 가진다.

2.2 노즐 슬라이드 조인트의 기계적 특성

면취공정과 정형공정에서 노즐 슬라이드 조인트는 내부에 국부적인 응력이 발생하여 형상이 변형되기 때문에 소결온도에 따른 Nitronic 60의 인장시험을 수행하고 결과를 Table 1에 유동응력식(flow stress curve)으로 나타내었고, 경도시험 결과를 Table 2에 나타내었다.

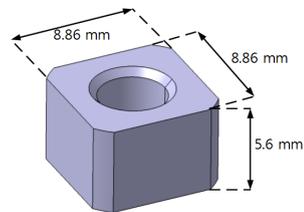


Fig. 1. 3D modelling shape of Nozzle Slide Joint

Table 1. Tensile properties of Nitronic 60

Type	Sintering condition			
	Sintering temperature [°C]	Sintering atmosphere	Lubricants	Flow stress curve [MPa]
1	1290	Ar	Non-addition	$\bar{\sigma} = 1552.03\epsilon^{-0.2695}$ [MPa]
2	1310			$\bar{\sigma} = 1431.57\epsilon^{-0.2223}$ [MPa]
3	1335			$\bar{\sigma} = 1568.48\epsilon^{-0.2727}$ [MPa]

Table 2. Hardness test results of Nitronic 60

Type	Results according to the depth of the specimen (H_{V_5} , mm)				
	1(mm)	4(mm)	7(mm)	10(mm)	13(mm)
1	225.4	222.6	223.6	232.1	220.8
2	237.1	222.6	224.5	222.6	223.6
3	214.6	232.1	229.5	222.6	231.1

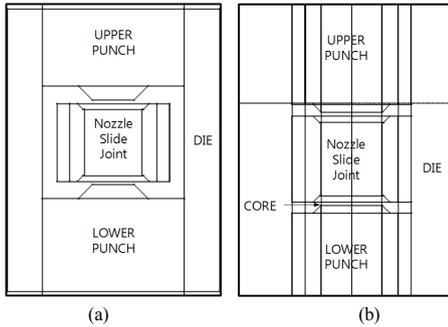


Fig. 2. Modeling of chamfering process at punch angle 45° and shaping process

- (a) modeling of chamfering process
- (b) modeling of shaping process

Table 3. Relative density of Nitronic 60

Type	Average density	Theoretical density	Average Relative density
1	7.591	7.75	97.943 %
2	7.600	7.75	98.059 %
3	7.615	7.75	98.257 %

Fig. 2에 유한요소해석 모델 중 모따기 펀치각도 45°을 나타내었는데, 실제 공정에서 제품의 성형성을 확인하기 위해 제품의 상단에서 하단으로 펀칭하는 순서와 같이 면취 및 정형공정의 해석을 진행하였다.

또한 노즐 슬라이드 조인트는 소결분말이므로 상대밀도가 중요하다. 일반적으로 소결단조품은 압축금형에서 발생하는 불균일한 밀도분포와 압축과 단조시 금형의 형상과 마찰에 의해 최종제품은 불균일 한 밀도를 나타내기 때문에[9-11]분말제품의 상대밀도 측정을 위해 물체를 물속에서 측정하면 공기 중에서 측정한 중량보다 이로 인하여 배출되는 물의 중량만큼 감소되는 원리를 이용하여 측정하는 비중법을 이용하였으며, 상대밀도 측정 결과는 Table 3에 나타내었다.

2.3 유한요소해석 모델

면취공정과 정형공정 설계를 위해 상용 유한요소해석 S/W인 DEFORM-3D를 이용하여 3차원 성형해석을 수행하였다. 노즐 슬라이드 조인트의 소재인 Nitronic 60의 유동응력식은 앞서 기술한 Table 1의 것을 사용하였다. 정형공정의 최적 해석 조건을 선정하기 위하여 본 연구에서는 다구찌 법을 활용하였다.

2.4 실험인자 및 직교배열표 작성

면취 및 정형공정의 설계 변수는 재료의 소결온도와 모따기 펀치각도, 펀치의 곡률반경으로 선정하였다. 소결온도는 일반적으로 높아질수록 스테인리스 강 소재의 기공률이 낮아지며, 항복강도, 탄성 계수, 비커스 경도 등이 증가한다. 특정 온도 이상으로 소결을 하게 되면, 역으로 기계적 물성이 감소하기 때문에 소결온도에 따른 기계적 물성 평가가 필요하다[12].

모따기 펀치각도는 노즐 슬라이드 조인트의 성형성과 연관이 있으며, 제품의 형상에 따라 필요각도가 달라지게 된다. 보편적으로 각도가 높을수록 더욱 가파른 형상을 보게된다. 그에 따라 실제 제품의 요구사항에 맞게 적절한 각도가 요구된다[13].

펀치의 곡률반경은 크면 클수록 펀치가 소재를 누르는 접촉면이 커지면서, 소재에 많은 응력이 발생하게된다. 그러나, 곡률반경이 너무 커지게 되면 곡률반경이 없을 때와 효과와 동일하게 나타나게 되므로 적절한 곡률반경이 필요하다[14].

이러한 소결온도, 모따기 펀치각도, 펀치의 곡률반경인 공정변수의 최적 조건을 찾기 위해 다구찌 법을 적용하여 설계변수의 수준 및 직교배열표를 작성하였다. 각 수준(level) 별 선정조건은 노즐 슬라이드 조인트의 재료에 대한 적절한 소결온도와 함께 원하는 모따기 각도를 기준으로 15도의 차이로 나누었으며, 노즐슬라이드 크기를 생각하여 곡률반경을 선정하였다. Table 4의 수준과 값들을 이용하였으며, Table 5의 직교배열표를 작성하였고, 각 수준 조합에 따라 면취 및 정형공정 유한요소해석을 수행하였다.

Table 4. Design Variables and levels

Variables	Level	Level		
		1	2	3
A	Sintering temperature(°C)	1290	1310	1335
B	Punch angle(°)	30	45	60
C	Radius (mm)	0	2.5	5

Table 5. $L_9(3^4)$ orthogonal array

Simulation no.	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Table 6. Finite element analysis results of $L_9(3^4)$ orthogonal array

Simulation no.	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Hydrostatic pressure (MPa)
1	1620	1.24	1686
2	1810	1.94	1842
3	2400	4.56	728
4	1790	1.84	2344
5	2110	3.50	2380
6	2390	3.17	1550
7	1770	1.78	2480
8	2110	3.50	2350
9	2370	5.53	724

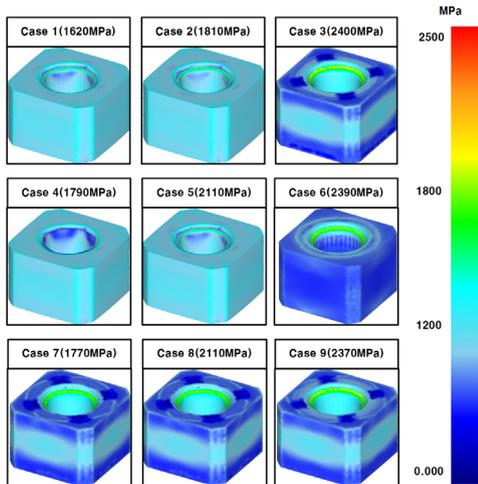


Fig. 3. Each case stress distribution by finite element analysis results

3 유한요소해석 결과

3.1 성형해석을 통한 실험계획법 적용 결과

각 수준 조합에 따라 진행된 해석 결과를 Table 6에 나타내었고, 응력, 변형률, 정수압에 따른 제품 형상을 Fig. 3, 4, 5에 나타내었다. 펀치 각도 60°를 제외한 모든 조건에서 버(burr)가 발생하였고, 이는 제품 제작 공정상에서 프레스 펀치와 가이드 핀에 수명감소를 유발한다. 따라서 가장 좋은 설계변수로 펀치 각도가 60°인 조건 중 응력과 정수압이 가장 낮은 조건인 9번의 소결온도 1335℃, 모따기 펀치각도 60°, 곡률반경 2.5 mm의 설계변수를 선정하였다.

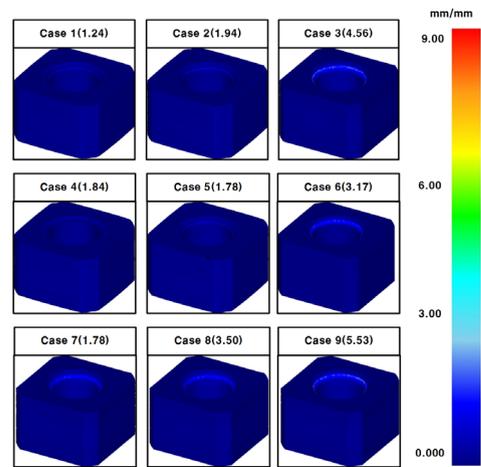


Fig. 4. Each case strain distribution by finite element analysis results

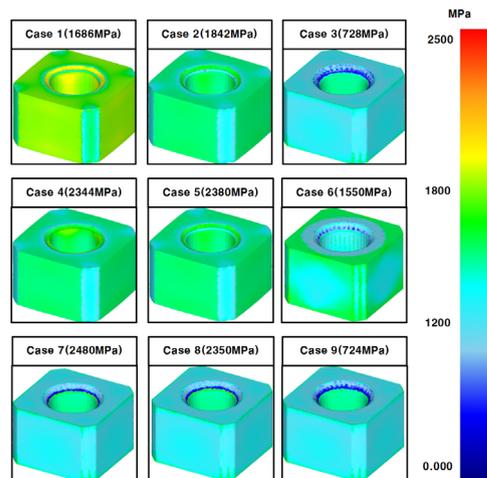


Fig. 5. Each case Hydrostatic pressure distribution by finite element analysis results

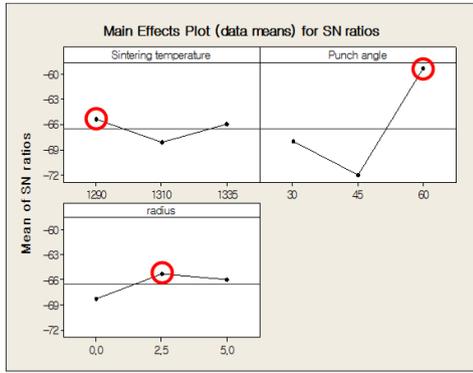


Fig. 6. The SN ratios for variables

따라서 다구찌 법을 적용한 소결온도 1335℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm 조건의 성형성을 평가하기 위해 정수압에 망소특성 식 (3.1)의 손실 함수를 적용하여, SN(Signal-to-Noise) 비를 비교하고 가장 좋은 수준을 예측하였다.

$$SN = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3.1)$$

여기서, y 는 해석 결과값, n 은 해석횟수를 나타낸 것이다.

응력, 변형률, 정수압은 망소특성으로 작을수록 제품에 가해지는 영향이 줄어들어 성형성이 향상되고 품질이 상승한다. Fig. 6에 정수압에 대한 수준별 요인 효과도를 나타내었다.

정수압에 대한 설계 변수가 해석에 미치는 영향의 순서는 모따기 편치각도, 곡률반경, 소결온도 순으로 나타났다. 또한, 정수압에 대해 SN비가 최대인 공정 조건은 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm 이었다. 따라서 다구찌 법을 통한 해석 조건 중 응력과 정수압이 가장 낮은 소결온도 1335℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm 조건과 SN 비가 최대인 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm의 조건에 대한 성형해석을 수행하고 결과를 평가하였다.

3.2 성형해석결과

Fig. 7은 SN비로 도출한 조건인 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm의 유한요소해석 결과로, 응력과 변형률의 분포이다.

직교배열표 9번 조건 소결온도 1335℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm와 SN비를 이용한 조건 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5 mm의

응력 분포 형상을 Fig. 8에 나타내었고, 정수압 분포 형상을 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9의 (a)는 SN비로 구한 조건의 유한요소해석 결과이며, 최대정수압 708MPa, 응력 2300MPa, 변형률은 7.16mm/mm였다. Fig. 9의 (b)는 직교배열표 9번 조건의 해석결과이며, 최대정수압 724MPa, 응력 2370MPa, 변형률 5.53mm/mm가 발생하였고, 그 값을 Table 7에 나타내었다.

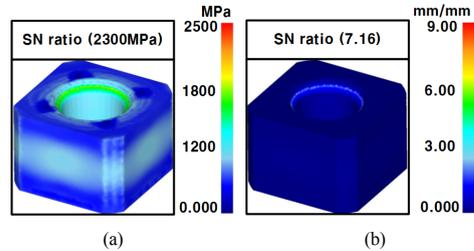


Fig. 7. Applying the condition of the SN ratio finite element analysis

(a) Stress distribution (b) Strain distribution

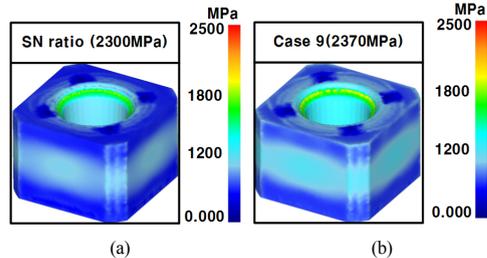


Fig. 8. Stress distribution of applying the terms of the SN ratio and orthogonal array comparative case 9

(a) The results of SN ratio (b) case 9 result

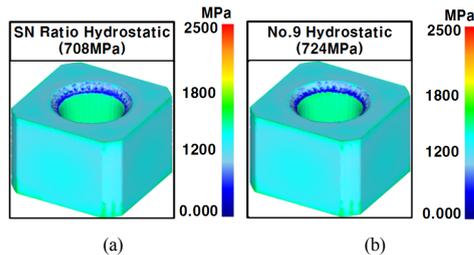


Fig. 9. Hydrostatic pressure distribution of the SN ratio results and orthogonal array case 9 applying the terms of the comparison

(a) The results of SN ratio (b) case 9 result

Table 7. Relative density of molding process

Type	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Hydrostatic (MPa)
Case 9	2370	5.53	724
SN ratio	2300	7.16	708

Fig. 9의 응력과 정수압을 비교한 결과 SN비로 구한 조건이 상대적으로 9번인 경우보다 응력 및 정수압이 낮아, 제품에 가해지는 영향이 줄어들어 성형성이 향상되어 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm의 조건이 더 좋다는 것을 알 수 있었다.

소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm를 적용한 면취공정 유한요소해석 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 면취공정 후 제품 면취 부위에 흠이 발생한 것을 확인 할 수 있다. Fig. 11은 면취 공정 후 다음 단계인 정형공정의 유한요소해석의 결과로 버와 흠이 발생하지 않았으며, 실험계획법의 SN비를 통해 도출한 공정 조건에 따른 제품 성형성이 가장 좋다는 것을 확인할 수 있었다.

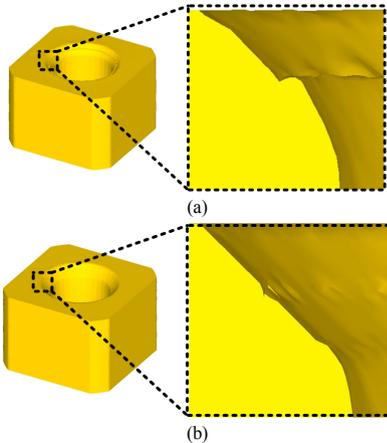


Fig. 10. The sintering temperature 1290 °C, punch angle 60°, finite element analysis results for the radius of curvature 2.5mm
(a) Chamfering process analysis
(b) Sharpening process analysis



Fig. 11. Shaping process mold

4. 유한요소해석 결과 검증

유한요소해석을 통해 얻은 상대밀도와 실제제품의 상대밀도를 비교 검증하고 치수 및 형상도 비교 검증을 하였다.

유한요소해석을 통하여 선정된 조건의 실험검증을 위하여 본 연구에서 제시한 설계변수인 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm에 대한 면취 및 정형 공정의 타당성을 검증하기 위하여, Fig. 11과 같이 금형을 제작 후, 실제제품을 제작하여 유한요소해석결과와 비교하였다.

4.1 상대밀도를 통한 유한요소해석 검증

소결 후의 상대밀도는 앞선 2.2절에서 파악한 것과 같고, 정형가공후의 밀도는 각 소결온도에 대해 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm의 조건으로 유한요소해석을 통하여 구하였으며, 이론밀도와 비교하여 Table 8에 나타내었다. 각 소결온도에 대해 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm으로 구한 상대밀도는 99%이상 일치하였다.

또한, 유한요소해석 결과의 밀도 값과 본 연구에서 제안한 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm으로 제작한 제품과 비교하였고, 해석결과와 실제 제품의 밀도는 99.9% 이상 동일하여 해석의 신뢰성을 확보하였다.

Table 8. Relative density of molding process

Type	Theoretical density	Simulation density	Relative density
1	7.75	7.71	99.484 %
2	7.75	7.7	99.355 %
3	7.75	7.71	99.484 %

Table 9. Relative density of real/simulation results

Type	Simulation density	Real density	Real / simulation
1	7.71	7.704	99.922 %
2	7.7	-	-
3	7.71	-	-

4.2 치수와 형상을 통한 유한요소해석 검증

Fig. 12은 소결온도 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5mm의 조건으로 실시한 유한요소해석과 동일한 조건으로 제작한 실제 제품의 치수와 형상을 비교한 것이다.

노즐 슬라이드 조인트의 규격을 Table 10에 나타내었고, 유한요소해석의 결과와 최종제품의 치수는 Table 11에 나타내었고, 해석과 실제제품의 치수와 형상을 비교한 결과 잘 일치함을 알 수 있었고, 모든 치수가 규격에 적합하였다.

따라서 절삭 공정을 거치지 않은 정형 공정만으로 노즐 슬라이드 조인트의 성형성을 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

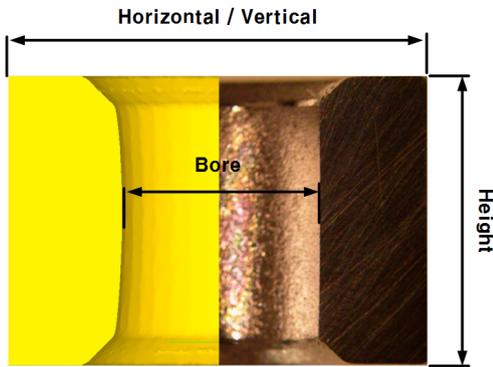


Fig. 12. Finite element analysis results and compare actual product

Table 10. Specification of nozzle slide joint

Items	Standard	Tolerance
Bore (mm)	∅ 4.05	+ 0.018 - 0
Horizontal (mm)	7.9	+ 0.2 - 0.2
Vertical (mm)	7.9	+ 0.2 - 0.2
Height (mm)	5.5	+ 0 - 0.14
Outside diameter (mm)	∅ 10	-

Table 11. Dimensional of simulation and the actual product

Items	Simulation	Real	Error factor [%]
Bore (mm)	∅ 4.052	∅ 4.051	0.025
Horizontal (mm)	7.915	7.914	0.013
Vertical (mm)	7.892	7.908	0.203
Height (mm)	5.382	5.428	0.855
Outside diameter (mm)	∅ 10.401	∅ 10.202	1.913

5. 결론

본 연구에서 유한요소해석과 다구찌 법의 직교배열 망소특성의 SN비의 조건을 비교하여 선정된 공정조건으로 가공하면, 차량 터보차저의 노즐 슬라이드 조인트의 절삭공정을 수행하지 않고 정형공정만으로 성형성을 향상시킬 수 있다는 것을 증명하였다. 설계 변수는 소결 온도, 모따기 편치각도, 곡률반경이며 재질은 스테인리스 강 Nitronic 60이다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 기계적 물성 및 특성을 알아보기 위해 인장시험과 경도시험 및 상대밀도 측정을 통하여 Nitronic 60 소재의 소결 후 기계적 특성을 평가하였다.
2. 다구찌 법의 직교배열표를 각 수준 조합에 따라 작성하였으며, 해석 결과의 형상은 편치 각도 60°를 제외한 모든 조건에서 버(burr)가 발생하였고, 이는 제품 제작 공정상에서 프레스 편치와 가이드 핀에 수명감소를 유발하기 때문에 가장 좋은 편치 각도는 60°로 선정하였다.
3. 다구찌 법과 SN비 비교 분석 결과, 해석에 미치는 영향도의 순서로는 모따기 편치각도, 곡률반경, 소결온도 순이며, 다구찌 법과 SN비의 조건이 불일치 할 경우, 설계변수의 비교분석을 통해 가장 좋은 조건을 선정하였고, 소결온도는 1290℃, 모따기 편치각도 60°, 곡률반경 2.5 mm가 가장 우수하였다.
4. 유한요소해석으로 편치 각도에 따른 슬라이드 조인트의 형상변화를 알 수 있었고, 60°R(2.5mm)의

해석 결과가 가장 좋은 정밀도를 가지며, 해석 결과와 실제 제품의 밀도는 99.9% 동일하다는 것을 확인하여 해석의 신뢰성을 확보하였다.

5. 실제 면취 및 정형 공정 해석결과를 실험적으로 검증하기 위해 금형을 제작하고 최종 제품의 단면형상과 치수를 비교하였고, 잘 일치하였다.

이상의 결과로부터 노즐슬라이드 조인트의 성형성 향상을 위해, 기계적 물성치 평가를 진행하고 실험계획법 적용으로 유한요소해석을 수행하고 실험적으로 검증한 결과 기존의 절삭공정을 삭제 할 수 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] H. Y. Kim, C. W. Park, H. I. Kim, k, S, Park, Y. H. kim and H. S. Joe, "A Study of the FEM Forming Analysis of the Al Powder Forging Piston", Journal of Korean Society Of Mechanical Engineers, vol. 34, no. 10, pp. 1543-1548, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2010.34.10.1543>
- [2] B. S. Lee, K. H. Kim, D. J. Lee and D. C. Choi, "A Study on Some Properties of Sintered Stainless Steel Powder Compacts With Sintering Conditions", Journal of the Korean Institute of Metals, vol. 24, no. 6, pp. 669-6791, 1986.
- [3] H. D.Ambs and A. Stosuy, "Handbook of Stainless Steel", McGraw-Hill, New York, pp. 29-32, 1977.
- [4] I. V. Nelzina and I. D. Radomysel'skii, "Soviet Powder Met. and Metal Ceramics", pp. 20-854, 1981.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00789198>
- [5] J. H. Lee, "A Study of the heterogeneous microstructures and material behaviors of austenitic 316L stainless steel by sintering condition" hanyang university, 2014.
- [6] K. H. min, V. R. Jayasekara, B. B. Hwang and D. H. Jang "Influence of Punch Nose radius on the Surface Expansion" Transactions of Materials Processing, vol. 16, no. 8, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5228/KSPP.2007.16.8.582>
- [7] H. S. Kim, M. S. Kim, H. I. Lee, N. S. Kim and D. C. Kim, "Enhancement of Dimple Formability in Sheet Metals by 2-Step Forming", Journal of Korean Soc. Mech. Eng. A, vol. 37, no. 7, pp. 841-849, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.7.841>
- [8] S. J. Park, M. C. Park and D. H. Kim, "Optimal Design of the Punch Shape for a Housing Lower," Transactions of Materials Processing, vol. 24, no. 5, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.24.5.332>
- [9] J. J. Park, "Relationship between Hardness and Relative Density in Sintered Metal Powder Compacts", Journal of Korean Society for Technology of Plasticity, pp. 168-174. 1998.
- [10] J. Y. kim and J. J. Park, "Prediction of Relative Density by Hardness in compressed Sintered-Metal Powder",

Journal of Korean Society for Technology of Plasticity, vol. 6, no. 6, pp. 508-516. 1997.

- [11] H. A. Kuhn and C. L. Downey, "Deformation Characteristics and Plasticity Theory of Sintered Powder Materials", Powder Metal, vol. 7, pp. 15, 1971.
- [12] H, J. Sung, T. K. Ha, S. Ahn and Y. W. Chang, "Effect of Sintering Temperature on the Tensile Properties of Powder Injection Molded Ph 17-4 STS" Journal of Korean Society for Technology of Plasticity, pp. 3005-3008, 2001.
- [13] C. H. Suh, Y. C. Jung, Y. H. Lim, H. Y. Yun and K. H. Lee, "The Effects of Process Parameters of Multi-Stage Forming On Springback for a U-Channel made of Ultra-High-Strength Steel" Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 36, no. 3, pp. 283-288. 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/k sme-a.2012.36.3.283>
- [14] K. H. Min, S. R. Bee, B. B. Hang, D. H. Jang, "Influence of Punch Nose Radius on the Surface Expansion.", Transactions of Materials Processing, vol. 16, no. 8, pp. 528-589, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5228/KSPP.2007.16.8.582>

김 봉 주(Bong-Ju Kim)

[정회원]



- 2016년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학과 (공학사)
- 2016년 3월 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

자동차 전자장치, 지능형 자동차

이 선 봉(Seon-bong Lee)

[정회원]



- 1993년 1월 ~ 2005년 4월 : 대우정밀(주) 기술연구소 수석연구원
- 2004년 2월 : 부산대학교 대학원 기계공학 (공학박사)
- 2005년 5월 ~ 2007년 2월 : 대구경북과학기술원 지능형자동차 연구팀장
- 2009년 11월 ~ 2015년 2월 : 지능형자동차부품진흥원 원장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

자동차 전자장치, 자동차 일반