

## Hexagonal 인서트용 열간압출 금형설계 Design of Hot Extrusion Dies for Hexagonal Insert

권혁홍\*(대진대학교 기계설계공학과, hhwon@road.daejin.ac.kr), 이정로(대진대학교 기계설계공학과 대학원)

### Abstract

The use of hexagonal ceramic inserts for copper extrusion dies offers significant technical and economic advantages over other forms of manufacture. In this paper the data on the loading of the tools is determined from a commercial FEM package as the contact stress distribution on the die-workpiece interface and as temperature distributions in the die. This data can be processed as load input data for a finite element die-stress analysis. Process simulation and stress analysis are thus combined during the design, and a data exchange program has been developed that enables optimal design of the dies taking into account the elastic deflections generated in shrink fitting the die inserts and that caused by the stresses generated in the process. The stress analysis of the dies is used to determine the stress conditions on the ceramic insert by considering contact and interference effects under both mechanical and thermal loads.

### 1. 서 론

압출공정은 임의 복잡한 단면형상을 가진 제품을 한번의 공정으로 용이하게 얻을 수 있는 소성가공 공정이다. 압출가공 공정에서는 적절한 공정변수의 제어도 중요한 역할을 하지만, 금형설계 기술이 제품의 양, 불량률을 좌우한다<sup>(3-7)</sup>. 따라서 공정변수의 제어와 함께 최적 금형설계 기술은 경제성 있는 압출재의 생산을 위해서는 필수적인 조건이다. 최근 압출이 진행되는 동안 균일하고 균형 잡힌 소재유동을 얻기 위하여 유선형 다이(streamlined die)의 설계와 개발에 노력하고 있다. 실제 산업계에 있어서 이는 금후 사용에 대한 많은 가망성을 가지고 있지만, 제작이 편리하고 가격이 낮은 이유로 압출업계에서는 평다이(flat die)를 주로 사용하고 있으며, 이를 더욱 선호하는 입장이다. 평다이를 통한 압출은 복잡한 소재유동으로 인하여 압출재의 결함 및 다이의 손상과 같은 많은 문제를 발생시킨다. 따라서 최적의 설계변수를 구하는 것은 압출재의 형상이 복잡해지고, 치수 정밀도

에 대한 요구가 증가함에 따라 더욱 어려워지므로, 실제 산업현장에서의 압출공정 및 금형설계는 경험에 많이 의존하고 있다. 청험과 실험에 의한 시행착오를 최소화하고 발생 가능한 결함을 예측하고 방지하기 위해서는 소재의 유동특성에 대한 많은 정보를 제공하는 유한요소법의 활용이 아주 효과적이다. 유한요소법은 축대칭 또는 평면변형 압출의 2차원 시뮬레이션에 아주 효율적으로 사용되고 있으나, 압출에 있어서 일반적으로 나타나는 3차원 해석을 3차원 유한요소 코드를 사용하여 행할 때, 매우 많은 계산량과 노력을 필요로 한다. 결과적으로 세밀한 요소 구성을 행하지 못하므로 공정의 정확한 해석이 어려워 3차원 압출공정의 해석은 거의 불가능하다. 또한 이러한 해석이 가능하다 하더라도 컴퓨터 사정 및 해석을 행하기 위한 복잡한 준비과정 등으로 인하여 아주 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 육각 압출재의 3차원 문제를 2차원 축대칭 문제로 정밀 근사시켜 해석하는 방법을 선택하였다. 그리고 금형재료는

열간성형시 금형의 마모(wear)로 인하여 금형 제작비, 금형 교체 시간 등의 손실을 가져온다. 이는 생산성의 감소로 이어진다. 기존의 금형 재료 대신에 내마모성이 강한 세라믹 금형을 생산공정에 적용하면 연속적인 생산성의 증가로 제품의 생산경비를 감소시킬 수 있다. 또한 기존의 금형재료보다 마찰상태가 향상되므로 좋은 표면을 갖는 제품을 생산 할 수도 있다. 세라믹 금형은 기존의 금형 재료와 여러 가지 기계적 물성면에서 매우 우수하다. 따라서 세라믹 금형을 소성가공 공정에 효과적으로 적용하기 위해서는 성형중의 소재의 유동, 금형에 작용하는 압력, 온도분포 등을 알아야 한다. 지금까지 세라믹 부품의 사용이 크게 제한된 원인중의 하나는 전기가 통하지 않기 때문에 Wire-EDM과 같은 기계가공을 할 수 없기 때문<sup>(1-2)</sup>이었다. 본 연구는 전도성 세라믹을 6각 형상의 열간압출공정의 금형에 적용하기 위해 세라믹을 사용했을 경우 공정특성을 파악하여 도출된 설계자료를 활용하여 금형을 제작하였다.

## 2. 압출다이 개발을 위한 성형 및 금형강도해석

### 2.1 압출공정 해석

본 연구에서는 세라믹 인서트를 다이 케이스에 끼워박음한 상태에서 쾌삭황동 소재의 압출 해석을 비등온으로 수행하며, 그 결과는 세라믹 다이의 응력해석에 사용한다. 열간압출다이에 사용되는 세라믹 재료로는 압출시 소재의 온도가 800℃ 전후이므로 열간압출 세라믹인서트는 전도성 세라믹인  $TiB_2$ 를 사용하였다. 일반적으로 세라믹은 인장응력에 약하기 때문에 기존 금속계 금형설계치를 그대로 사용할 수 없으며, 금형강도해석을 이용한 FEM 분석을 통해 최적의 세라믹 금형설계가 필요하다. 세라믹 소재의 약한 인장 강도는 열박음시 발생하는 외부 케이스의 압축응력에 의해 보상되도록 구성된다.

유한요소해석을 통하여 압출시 유동특성을 살펴보았다. 온도는 경도, 강도 등에 영향을 미치므로 온도해석도 수행하여 온도분포 상태도 알아보았다. 열간 성형에서는 비정상상태의 해석이 요구되어지므로 비정상상태의 해석을

DEFORM에서 수행하여 이들 결과데이터를 이용하여 금형에 걸리는 응력상태가 금형설계 자료로 중요하므로 금형의 응력해석을 ANSYS에서 Fig.1과 같은 방법론으로 수행하였다<sup>(8-10)</sup>.

본 연구에서는 3차원 압출문제를 2차원 축대칭 문제로 정밀 근사시키기 위해서 실제 육각모양의 압출구로 구성된 다이 대신 원형의 압출구 단면적을 계산, 이에 상응하는 원형의 단면적으로 환산하여 압출구가 원형인 것으로 가정하였다. 열간압출의 해석을 위해서는 많은 양의 입력 데이터를 필요로 한다.

해석할 압출공정은 쾌삭황동 소재의 열간압출해석을 위한 다이, 컨테이너 및 세라믹 인서트의 구성을 나타낸 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 사용한 세라믹 금형은  $TiB_2$ 의 복합분말을 HP(hot pressing)공정으로 성형한 것이다. 쾌삭황동 ( $\phi 120 \times 500mm$ )의 초기온도는 800℃, 다이 및 컨테이너의 초기온도는 400℃, 램속도 5mm/sec, 다이 및 컨테이너는 강체로 가정하였으며, 온도계산만 가능하도록 요소를 구성하였으며, 소재는 압출구 부분을 아주 조밀하게 요소를 구성하였으며, 다이와 세라믹 인서트부의 물성치 및 해석에 사용된 상수들은 Table 1과 같다.

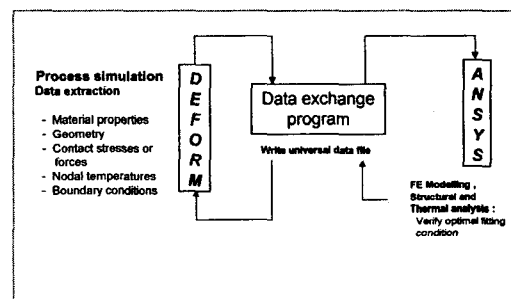


Fig. 1 Methodology for optimizing the design of the ceramic inserts

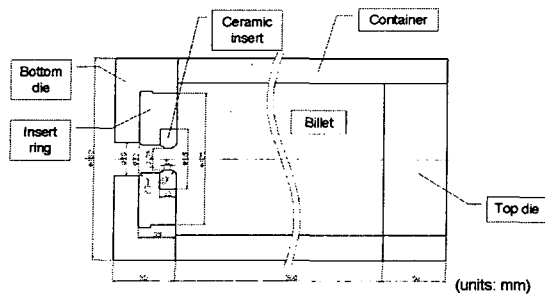


Fig. 2 Tooling system used in hot extrusion process

Table 1 Material input data used in the analysis

Material	Dies	Ceramic insert
	H13	TiB <sub>2</sub>
Yonng's modulus (GPa)	190	442
Poisson ratio	0.3	0.097
Thermal conductivity (N s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	28.6	65
Heat capacity(N mm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )		
Emissivity(N s <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> K <sup>-4</sup> )	3.588	8.3
Interface heat transfer coefficient (N s <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0.7	0.7
	27.5	7.6

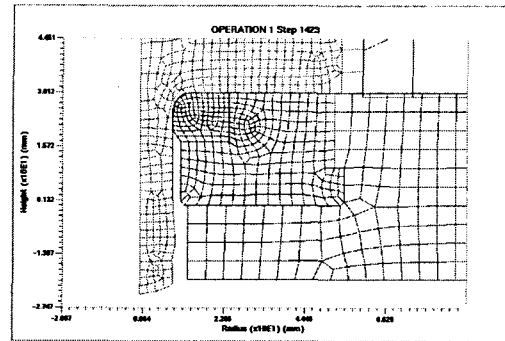
세라믹은 압축응력에 비해 인장응력에 취약하다. 따라서 세라믹 다이의 강도를 높여 주기 위해 외부에 금속 케이스를 억지끼워박음에 의해 보강하여 압축잔류응력을 발생시켜 준다<sup>(11)</sup>.

본 연구에서는 세라믹인서트와 열간공구강 케이스를 가열하여 프레스 끼워박음하였다. 이때 인서트와 금속케이스사이의 간섭량은 큰 압축응력의 발생 및 인서트의 강도를 고려하여 결정하여야 한다. 따라서 간섭량의 변화에 따른 세라믹 다이의 변형과 응력변화를 해석하여 최적의 간섭량을 구하기 위해 접촉요소(contact element)를 사용하여 간섭량만큼 초기변위를 주어 끼워박음을 모델링하였고, 경계조건으로는 다이 케이스의 끝에서 압출진행방향으로 구속하였다.

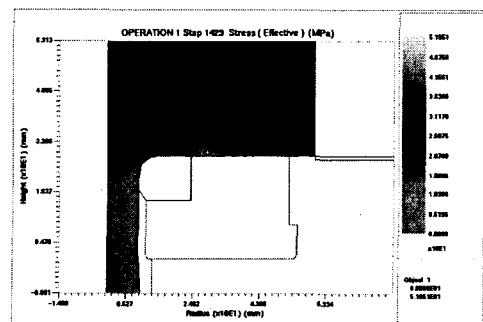
## 2.2 비등온 유한요소해석결과

Fig. 3(a)은 강소성 FEM인 DEFORM에서의

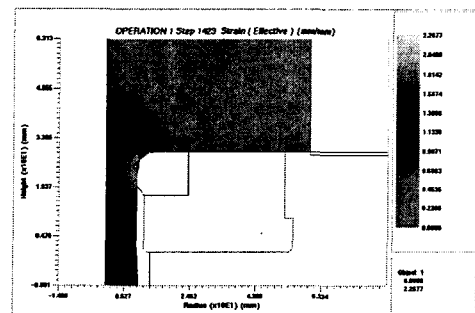
열간압출공정이 진행되고 있는 과정을 나타내며, Fig. 3(b), (c)는 열간압출공정이 진행될 때의 소재의 유효응력과 변형을 분포를 출력한 것이다.



(a) Hot extrusion process



(b) Effective stress distribution



(c) Effective strain distribution

Fig. 3 Process simulation results of the hot extrusion on the DEFORM

다이의 압출해석을 수행하여 나온 결과로 다

이의 가해지는 가압력과 온도분포를 응력 해석을 위한 데이터로 사용하여 간섭량에 따른 다이스의 변형 및 응력변화를 파악하였다.

Fig 4는 세라믹 인서트와 다이스의 온도분포를 나타낸다. 온도의 변화는 크게 발생하지 않았으며, 컨테이너 및 다이, 세라믹 인서트, 소재, 대기와의 열전달로 일반적으로 온도가 약간 감소하였음을 알 수 있다.

다이스의 간섭량 조건을 최적화하기 위하여 유한요소 해석을 통하여 압출과정에서 일어나는 압출력, 간섭량에 의한 응력해석 및 온도에 따른 열응력 해석을 통하여 다이스의 변형 및 응력변화를 Fig. 5~Fig.8과 같이 알아보았다. 그 결과 간섭량이 커질수록 세라믹 인서트에 작용하는 압축 잔류응력이 증가하여 다이스의 강도를 향상시켜 주지만, 너무 커지면 변형량과 등가응력도 아울러 증가하므로 제품의 정도 등에 나쁜 영향을 미치게 된다. 이런 유한요소 해석결과는 간섭량 조건을 찾아 내어 금형제작시 유용한 자료로 활용되었다.

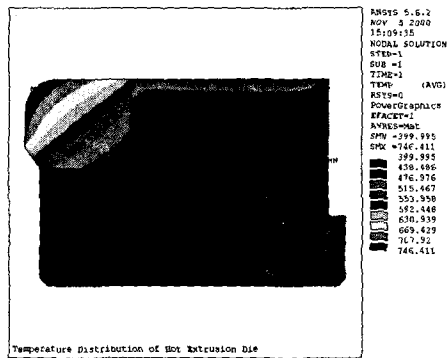
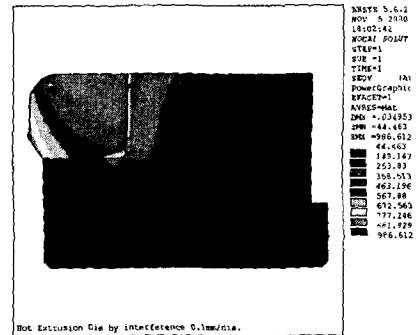
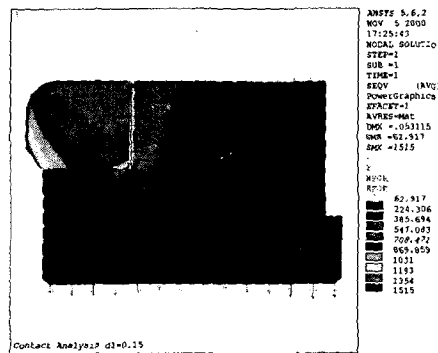


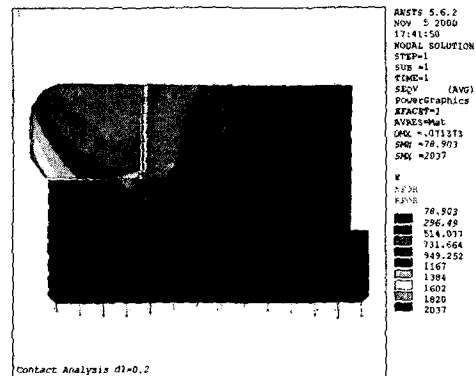
Fig. 4 Temperature distribution on the die insert and case



(a) Interference value 0.1mm/dia.



(b) Interference value 0.15mm/dia.



(c) Interference value 0.2mm/dia.

Fig. 5 Equivalent stresses of the die insert and case with interference values

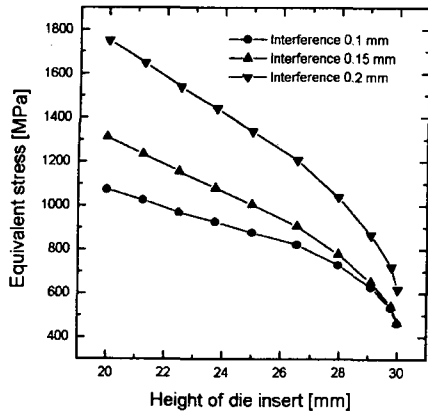


Fig. 6 Equivalent stresses on the height of die insert with interference values

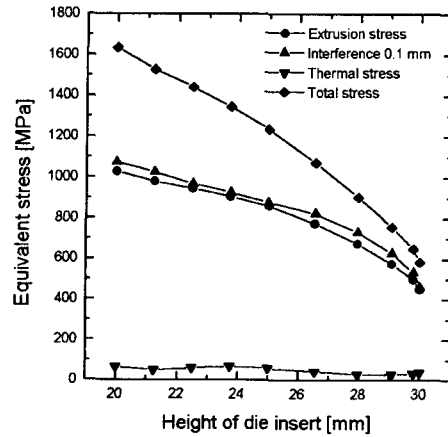
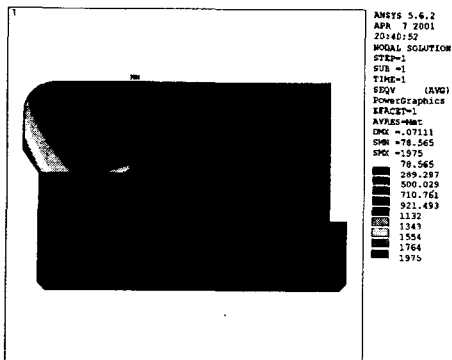
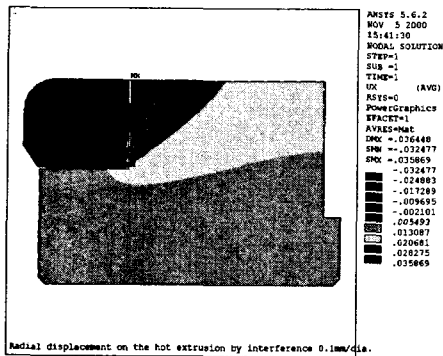


Fig. 8 Equivalent stresses on the height of die insert by total load



(a) Equivalent stresses contours by total load



(b) Radial displacement by the total loads

Fig. 7 Equivalent stresses and radial displacement contours by total load

### 3. Hexagonal 형 열간압출 금형제작

압출공정시 받는 압출력에 의한 응력, 간섭량에 의한 잔류응력 및 다이와 소재 및 주위에서 일어나는 열전달에 의한 열응력에 대해 응력 해석을 수행하여, 다이가 받는 응력을 완화시키기 위한 최종 금형의 설계치수를 제시하였다.

제시된 최종 금형의 설계치수를 이용하여 세라믹 인서트의 Wire 방전을 위하여 Auto-CAD 상에서 그려진 평균형을 이용하여 평균형 압출용 금형을 가공할 수 있는 NC-code를 생성하고, 압출금형에 Wire-EDM 전극가공을 위한 NC-code에 의해 Hexagonal 패삭형동용 열간압출금형을 Fig. 8과 같이 제작하였다.

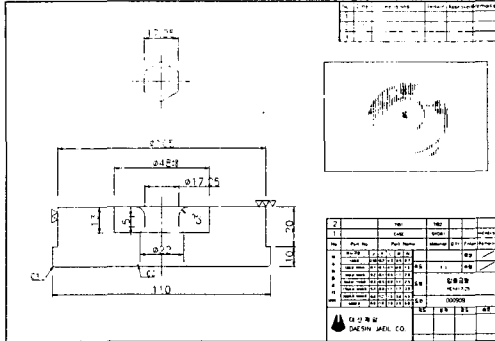


Fig.9 Hexagonal shape drawing of ceramic insert and hot extrusion dies

#### 4. 결론

본 연구는 6각재 열간압출금형용 인서트로 내마모성이 우수한 세라믹계로 대체하기 위한 설계연구를 수행하였다.

유한요소법을 사용하여 세라믹 인서트의 최적 금형설계를 위하여 압출해석과 강도해석을 통하여 온도분포, 금속유동, 응력상태 등의 공정 특성을 알 수 있었다.

압출공정시 받는 압출력에 의한 응력, 간섭량에 의한 잔류응력 및 다이와 소재 및 주위에서 일어나는 열전달에 의한 열응력에 대해 응력해석을 수행하여, 다이가 받는 응력을 완화시키기 위한 최종 금형의 설계치수를 제시하였다. 이를 활용하여 6각 열간압출용 금형을 가공할 수 있는 Wire-EDM 가공을 위한 NC-code를 생성시켜 금형을 제작하였다.

#### 참고 문헌

[1] Aoki I, Suzuki K, and Nakagawa T, "Wear and life of blanking tool made of ceramic materials," *Advanced Technology of Plasticity*, vol.1, pp. 91-98, 1987

[2] Ohuchi K, Sasaki S, and Matsuno K, "Isothermal forging with ceramic die on industrial basis," *Advanced Technology of Plasticity*, vol.1, pp. 271-278, 1990

[3] Doege E, Bohnsack R, and Romanowski

C, "Tool technologies for near net shape forgings," *International Conference on Forging and related Technology(ICFT 98)*, pp. 311-322, 1998

[4] Guyoncourt D, Huang HC, and Piller R, "Housing of Ceramic Die Inserts for Aluminum Extrusion," *Proc. 6th International Aluminum Extrusion Technology Seminar*, Chicago, USA, Vol. 2, pp. 133-139, 1996

[5] 김해두, 이상록, 이재경외, "압출 인발용 세라믹 다이개발," 연구보고서, 통상산업부, 1995

[6] 강연식, 양동열, 정순길, 이준근, "세라믹 금형을 이용한 열간 튜브 압출의 축대칭 유한요소해석," *소성가공*, 7권, 1호, 1998, pp.72-80

[7] Knoerr M, Lange K, and Altan T, "Fatigue failure of cold forging tooling: causes and possible solutions through fatigue analysis," *Journal of Material Processing Technology*, vol. 46, pp. 57-71, 1994

[8] Nagao Y, Knoerr M, and Altan T, "Improvement of tool life in cold forging of complex automotive parts," *Journal of Material Processing Technology*, vol. 46, pp. 73-85, 1994

[9] Takahashi S, Brebbia CA, "Forging die stress analysis using boundary element method," *Advanced Technology of Plasticity*, vol. 1, pp. 203-210, 1990

[10] Kwon HH, Bramley AN, "A development of ceramic inserts for closed die forging tools," *Annals of the CIRP*, vol. 49/1, 173-176, 2000

[11] 권혁홍, 진황민, 김형섭, "Die Design on the Precision Cold Forging of Spur Gear", 한국공작기계학회 '98년도 추계학술대회 논문집, pp.242-247, 1998, 11