

TiB₂ 인서트를 체결한 열간압출 금형설계 및 제작

권혁홍*, 이정로**

Die Design for the Hot Extrusion with TiB₂ Insert

Hyuk-Hong Kwon*, Jung-Ro Lee**

ABSTRACT

The use of ceramic inserts in hot extrusion dies offers significant technical and economic advantages over other forms of manufacture. In this paper, 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 shrink fit analysis has been performed that enables optimal design of the dies taking into account the elastic deflections which generated in shrink fitting the die inserts and that caused by the stresses generated in the process and by using DEFORM software for process analysis. 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 die design. 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. The results are compared with the experimental ones for verification.

Key Words : Hot Extrusion Die(열간압출금형), Ceramic Die Insert(세라믹 금형인서트), Process Simulation(공정 시뮬레이션), Die Design(금형설계), Die Stress Analysis(금형강도해석)

1. 서론

압출가공 공정에서는 적절한 공정변수의 제어도 중요한 역할을 하지만, 금형설계 기술이 제품의 양, 불량률을 좌우한다⁽¹⁻³⁾. 따라서 공정변수의 제어와 함께 최적 금형 설계 기술은 경제성 있는 압출재의 생산을 위해서는 필수적인 조건이다. 최근 압출이 진행되는 동안 균일하고 균형 잡힌 소재유동을 얻기 위하여 유선형 다이(streamlined die)의 설계와 개

발에 노력하고 있다⁽⁴⁾. 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 정밀도에 대한 요구가 증가함에

2001년 12월 10일 접수

* 대전대학교 기계설계공학과

** 대전대학교 대학원 기계설계공학과

따라 더욱 어려워지므로, 실제 산업현장에서의 압출공정 및 금형설계는 경험에 많이 의존하고 있다. 경험과 실험에 의한 시행착오를 최소화하고 발생 가능한 결함을 예측하고 방지하기 위해서는 소재의 유동특성에 대한 많은 정보를 제공하는 유한요소법의 활용이 아주 효과적이다. 그리고 금형재료는 열간성형시 금형의 마모(wear)로 인하여 금형 제작비, 금형 교체 시간 등의 손실을 가져온다. 이는 생산성의 감소로 이어진다. 기존의 금형재료 대신에 내마모성이 강한 세라믹 금형을 생산공정에 적용하면 연속적인 생산성의 증가로 제품의 생산경비를 감소시킬 수 있다. 세라믹 금형은 기존의 금형재료와 여러 가지 기계적 물성면에서 매우 우수하다⁽⁶⁾. 따라서 세라믹 금형을 소성가공공정에 효과적으로 적용하기 위해서는 성형중의 소재의 유동, 금형에 작용하는 압력, 온도분포 등을 알아야 한다. 지금까지 세라믹 부품의 사용이 크게 제한된 원인중의 하나는 세라믹이 비전도성으로 Wire-EDM과 같은 기계가공을 할 수 없기 때문⁽⁶⁻⁷⁾이었다. 본 연구는 전도성 세라믹을 열간 압출 금형에 적용하기 위해서 TiB_2 와 같은 전도성 세라믹을 사용했을 때의 공정특성을 파악한다. 그리고, 도출된 설계자료를 이용하여 금형설계·제작과 열간압출실험을 거쳐 열간 압출다이로의 사용가능성을 타진하고자 한다.

2. 압출 성형 및 금형강도해석

2.1 압출공정 해석

본 연구에서는 세라믹 인서트를 다이 케이스에 끼워박음한 상태에서 쾌삭황동 소재의 압출해석을 비등온으로 수행하며, 그 결과는 세라믹 다이의 응력해석에 사용한다. 열간압출 다이스에 사용되는 세라믹 재료로는 전도성 세라믹인 TiB_2 (titanium diboride)의 복합분말을 HP(hot pressing) 공정으로 성형한 것을 사용하였다.

열간 성형에서는 비정상상태의 해석이 요구되 어지므로 비정상상태의 해석을 DEFORM-2D에서 수행하여 이들 결과데이터를 이용하였다. 참고로 DEFORM은 1970년대말 미공군의 지원아래 Battelle 연구소에서 ALPID⁽⁸⁾라는 이름으로 최초 개발되어 FEM(Finite Element Method)를 이용하여 소성가공공정을 해석할 수 있는 전용 프로그램으로서, 현재

전세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 소성가공해석용 소프트웨어이다.

그리고, 금형에 걸리는 응력상태가 금형설계 자료로 중요하므로 금형의 응력해석을 ANSYS에서 Fig. 1과 같은 방법론⁽⁹⁾으로 수행하였다.

빌렛인 쾌삭황동($\phi 120 \times 500mm$)의 초기온도는 $700^\circ C$, 다이 및 컨테이너의 초기온도는 $200^\circ C$, 램속도 $5mm/sec$, 다이 및 컨테이너는 강체로 하였으며 (Fig. 2), Fig. 3과 같이 온도계산만 가능하도록 요소를 구성하였으며, 소재는 압출구 부분을 아주 조밀하게 요소를 구성하였다. 다이와 세라믹 인서트부의 물성치 및 해석에 사용된 상수들은 Table 1과 같다.

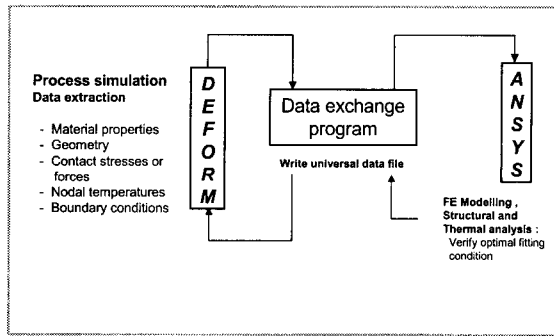


Fig. 1 Methodology for optimizing the design of the ceramic inserts

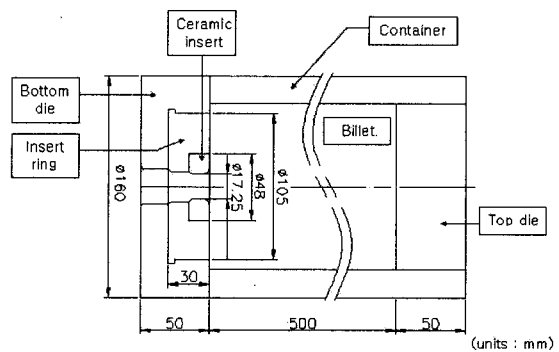


Fig. 2 Schematic of the hot extrusion process and tooling system used in the experiment

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 접촉요소를 사용하여 간섭량만큼 초기변위를 주어 끼워박음을 모델링하였고, 경계조건으로는 다이조립체에서 압출진행방향 즉, 축방향으로 구속하였다⁽¹⁰⁻¹¹⁾.

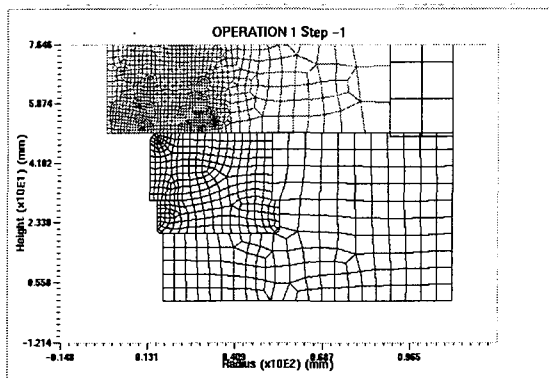


Fig. 3 Initial meshes of billet and dies for hot extrusion process in DEFORM

Table 1 Material input data used in the analysis⁽¹²⁾

| Material | Case | Insert |
|---|-------|------------------|
| | H13 | TiB ₂ |
| Young's modulus (GPa) | 190 | 510 |
| Poisson ratio | 0.3 | 0.18 |
| Thermal conductivity (N s ⁻¹ K ⁻¹) | 28.6 | 25 |
| Emissivity(N s ⁻¹ mm ⁻¹ K ⁻⁴) | 3.588 | 8.3 |
| Interface heat transfer | 0.7 | 0.7 |
| coefficient (N s ⁻¹ mm ⁻¹ K ⁻¹) | 27.5 | 7.6 |

2.2 비등온 유한요소 해석결과

유한요소해석을 통하여 압출시 유동특성을 살펴보았다. 온도는 경도, 강도 등에 영향을 미치므로 온도해석도 수행하여 온도분포 상태도 알아보았다. Fig. 4는 빌렛인 쾌삭황동(Φ120×500mm)의 초기온도는 700℃, 다이 및 컨테이너의 초기온도는 200℃, 램속도 5mm/sec로 한 열간압출공정이 진행될 때의 소재의 유효변형을 분포를 출력한 것이다.

비등온 압출해석 결과로 열간 압출금형에 가해지는 가압력과 온도분포를 구하였다. 또한 이를 이용하여 금형강도해석에 적용하여 간섭량에 따른 금형의 변형 및 응력변화를 파악하였다.

Fig 5는 세라믹 인서트와 다이의 온도분포를 나타낸다. 온도의 변화는 크게 발생하지 않았으며, 컨테이너 및 다이, 세라믹 인서트, 소재, 대기와의 열전달로 일반적으로 온도가 약간 감소하였음을 알 수 있다.

다이의 간섭량 조건을 찾기 위하여 유한요소 해석을 통하여 몇 가지 종류의 간섭량에 따른 다이인서트부의 원주방향 응력변화를 Fig. 6과 같이 알아보았다. 간섭량이 커질수록 세라믹 인서트에 작용하는 압축 잔류응력이 증가하여 다이의 강도를 향상시켜 주지만, 너무 커지면 변형량과 등가응력도

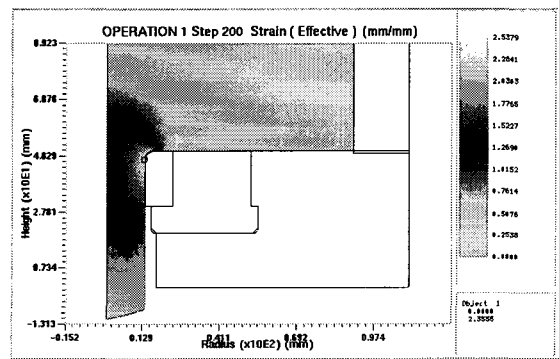


Fig. 4 Effective strain distribution of the hot extrusion

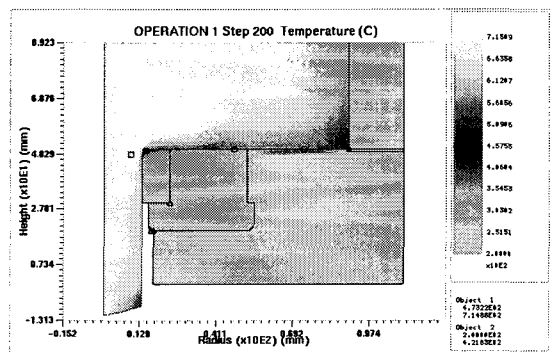


Fig. 5 Temperature distribution on the die insert and case

아울러 증가하므로 제품의 정도 등에 나쁜 영향을 미치게 된다. 이러한 유한요소 해석결과에서 간섭량을 0.1mm/dia.으로 결정하여 금형제작시 끼워박음하였다⁽¹³⁾. Fig. 7은 압출공정시 받는 압출력에 의한 Von Mises 응력, 억지끼워박음만 작용할 때의 잔류응력 및 다이와 빌렛 및 주위에서 일어나는 열전달에 의한 열응력을 알 수 있다. 이러한 각각의 하중을 중첩한 결과에 대한 다이 인서트부의 등가 응력치가 전체응력(total stress)으로 나타내었으며, 다이입구부에서 최대 800MPa이 걸린다는 것을 알 수 있다. Fig. 8은 압출시 다이 인서트에 발생하는 원주방향 응력을 상쇄하기 위해 가공경화된 강을 다이 케이스로 억지끼워박음 시킴으로서 사용중에도 지속적으로 세라믹 다이 인서트에 압축응력이 작용하게 됨을 알 수 있다.

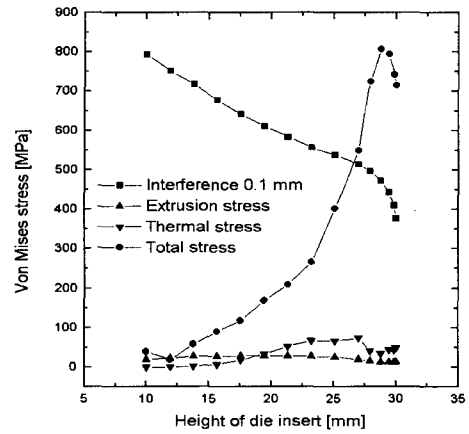


Fig. 7 Von Mises stresses on the height of die insert due to mechanical and thermal loads

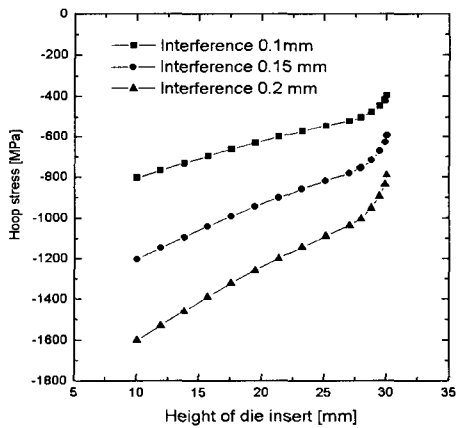


Fig. 6 Hoop stresses of the die insert with interference values

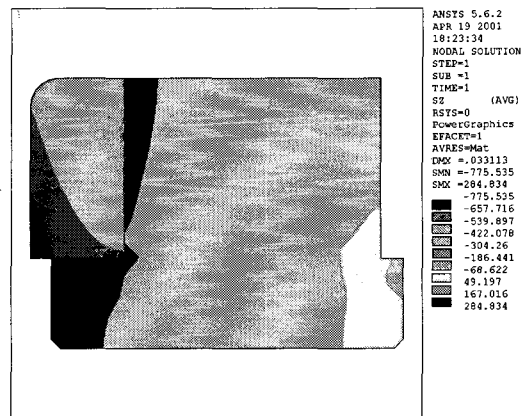


Fig. 8 Hoop stresses on the height of die insert due to mechanical and thermal loads

3. 열간압출 금형제작 및 실험

압출공정시 받는 압출력에 의한 응력, 간섭량에 의한 잔류응력 및 다이와 소재 및 주위에서 일어나는 열전달에 의한 열응력에 대해 응력 해석을 수행한 결과를 활용하여 다이가 받는 응력을 완화시키기 위한 최종 금형의 설계치수를 제시하였다. 이는 다이인서트부위에 작용되는 3가지의 하중형태를 비교검토한 결과 다이인서트부위에 전체응력이 작게 작용되는 것을 이용하여 금형의 최종 설계치수로 사용하였다.

제시된 최종 금형의 설계치수를 이용하여 세라믹 인서트의 Wire-EDM 방전을 위하여 Auto-CAD 상에서 그려진 평균형(Fig. 9)을 이용하여 평균형 압출용 금형을 가공할 수 있는 NC-code 를 생성(Fig. 10)하여 환형 폐삭형동용 열간압출금형을 제작하여 1650톤의 압출기에서 실험을 수행하였다(Fig. 11).

Fig. 2와 같은 동일한 열간 압출조건에서 기존의 금형재료(Table 2)를 사용할 때 50개(5톤)의 빌렛을 압출하였으나, 현지 사정상 3개의 세라믹 다이스를 이용하여 10개 정도씩을 압출한 후 세라믹

다이스의 외관을 살펴보았다. Fig. 12에 나타난 바와 같이 압출다이스로써 여전히 사용가능한 상태를 알 수 있고, Fig. 13은 사용된 TiB₂의 미세조직을 통해 소결상태가 여전히 양호함을 살펴보았다. 그

리고, Fig. 14는 생산된 압출품은 기존 수입하여 사용되고 있는 열간압출용 다이인서트체인 REXALLOY 33을 사용하여 압출된 동압출 제품보다 양질의 표면조도를 갖는 제품을 압출하였다.

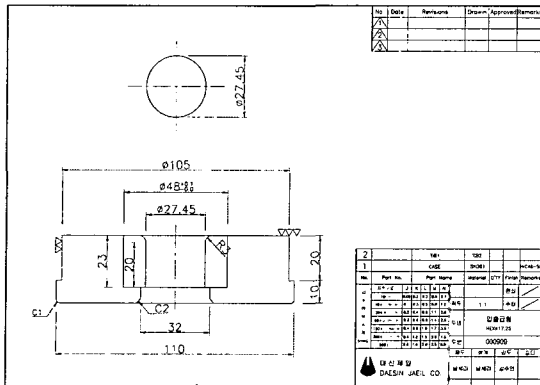


Fig. 9 Drawing of hot extrusion die

| |
|--------------------------------|
| %% |
| N0001M80 |
| N0002M82 |
| N0003M84 |
| N0004G90 |
| N0005G92X0Y0 |
| N0006F1.5M90E1H23 |
| N0007G01G42X0Y13725 |
| N0008G02X0Y-13725I0J-13725 |
| N0009G02X-2383Y13516I0J13725 |
| N0010M01 |
| N0011G02X479Y13717I2383J-13516 |
| N0012M01 |
| N0013G01X0Y0G40M91F100. |
| N0014M80 |
| N0015M82 |
| N0016M84 |
| N0017G90 |
| N0018G92X0Y0 |
| N0019F5.M90E4H24 |
| N0020G01G41X479Y13717 |
| N0021G03X0Y-13725I-479J-13717 |
| N0022G03X0Y13725I0J13725 |
| N0023G01X0Y0G40M91F100. |
| N0024M02 |
| %% |

Fig. 10 NC codes for the hot extrusion die



Fig. 11 Field test of hot extrusion using ceramic insert and die set

Table 2 Chemical compositions of REXALLOY 33 for hot extrusion die insert [unit: %]

| | |
|----------------------|-------|
| Carbon | 2.25 |
| Chromium | 33.00 |
| Tungsten | 18.00 |
| Cobalt | 44.00 |
| Balance confidential | 2.75 |

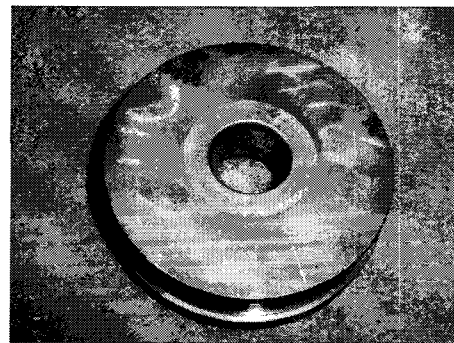


Fig. 12 Ceramic die insert and stress ring shrink-fitted after field test of hot extrusion

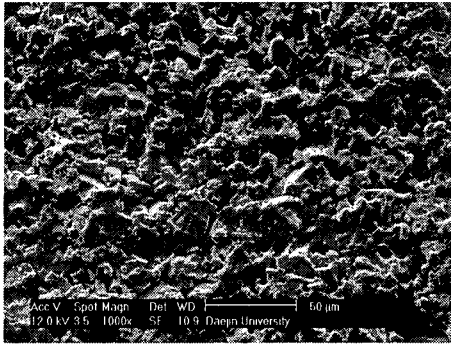


Fig. 13 Microstructure photoed by SEM of Ceramic die insert after field test

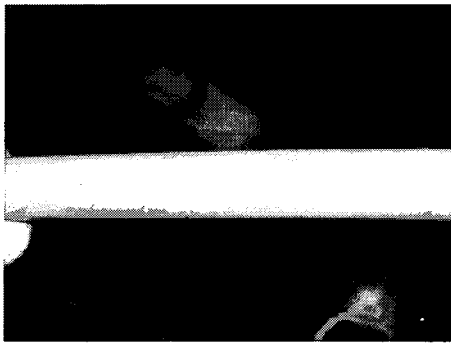


Fig. 14 Extruded product after field test of hot extrusion

4. 결론

본 연구는 유한요소법을 사용하여 세라믹 인서트
의 최적 금형설계를 위하여 열간압출해석과 강도
해석을 실시하였다. 해석결과 온도분포, 금속유동,
응력상태 등의 공정 특성을 도출하였다. 그리고, 압
출공정시 받는 압출력에 의한 응력, 간섭량에 의한
잔류응력 및 다이와 소재 및 주위에서 일어나는 열
전달에 의한 열응력에 대해 응력해석을 수행하여,
다이가 받는 응력을 완화시키기 위한 최종 금형의
설계치수를 제시하였으며, 이를 활용하여 금형을
가공할 수 있는 Wire-EDM을 위한 NC-code를 생성
시켜 금형을 제작하여 실험을 수행하였다. 현장에
서의 실험결과 열간압출다이프로써 사용가능함을
알 수 있었고, 열간압출된 압출품은 기존 다이스를

사용한 동압출 제품보다 양호한 표면조도를 얻을
수 있었다.

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. Ohuchi K, Sasaki S, and Matsuno K, "Isothermal forging with ceramic die on industrial basis," *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 271-78, 1990.
4. Bhavin V. Mehta, Ibrahim Al-Zkeri, Jay S. Gunasekera and Arjaan Buijk, 2001, "3D flow analysis inside shear and streamlined extrusion dies for feeder plate design," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 113, Issues 1-3, pp. 93-97, 2001.
5. Aoki I, Suzuki K., Nakagawa T., *Wear and Life of Blanking Tool made of Ceramic Materials*, *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 91-98, 1987.
6. 김해두, 이상록, 이재경외, "압출 인발용 세라믹 다이개발," 연구보고서, 통상산업부, 1995.
7. 강연식, 양동열, 정순길, 이준근, "세라믹 금형을 이용한 열간 튜브 압출의 확대칭 유한요소 해석," *소성가공*, 7권, 1호, pp. 72-80, 1998.
8. Oh SI, Lahoti GD, and Altan T, "ALPID-A General Purpose FEM Program for Metal Forming," *Proc. NAMRC-IX*, State College, Penn., p. 83.
9. 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.
10. Kwon HH, Bramley AN, "A development of ceramic inserts for closed die forging tools," *Annals of the CIRP*, Vol. 49/1, pp. 173-176,

2000.

11. 권혁홍, 이정로, "TiB₂ 인서트를 체결한 열간압출 금형에 관한 연구," 한국소성가공학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp. 106-109, 2001.5.
12. MaCom Co., <http://www.macom.com/advancedmaterials/titanium.jsp>.
13. 권혁홍, "세라믹 인서트를 이용한 단조금형에 관한 연구," 韓國精密工學會 2000年度 春季學術大會論文集, pp. 1-54, 2000.5.