

다단-포머용 볼트류 제작을 위한 최적의 공정 및 금형설계에 관한 연구

박철우* (부산대 정밀기계대학원), 김 철** (부산대 기계기술연구소),
김영호*** (부산대 기계공학부, ERC/NSDM)

A Study on the optimal Process Planning and Die design for manufacturing Bolts by multi-former

Chul-Woo Park, Chul Kim and Young-Ho Kim

ABSTRACT

This paper deals with an automated computer-aided process planning and die design system by which designer can determine operation sequences even if they have a little experience in process planning and die design for axisymmetric products. An attempt is made to link programs incorporating a number of expert design rules with the process variables obtained by commercial FEM softwares, DEFORM and ANSYS, to form a useful package. They can provide a flexible process based on either the reduction in the number of forming sequences by combining the possible two processes in sequence, or the reduction of deviation of the distribution on the level of the required forming loads by controlling the forming ratios. Especially in die design module an optimal design technique and horizontal split die were investigated for determining appropriate dimensions of components of multi-former die set. It is constructed that the proposed method can be beneficial for improving the tool life of die set at practice.

Key Words : Process Planning(공정설계), Die Design(금형설계), Split Die(금형분할), Extrusion(압출)

1. 서론

오늘날의 생산시스템은 산업계가 직면하고 있는 생산의 다양화, 합리화, 효율화, 숙련 기능인의 부족, 노동 가치관의 변화등에 대처하기 위해 자동화가 필연적인 과정이며, 이를 위해 컴퓨터 기술의 이용이 요구되어진다.⁽¹⁾

본 연구에서는 다단-포머용 볼트제작을 위하여 가공가능성검사, 공정 및 금형설계를 통하여 최적의 공정 및 금형을 설계하는 냉간 단조용 전문가시스템을 개발하고자 한다. 개발된 시스템의 가공가능성검사모듈에서는 설계규칙에 따라 가공 가능한 모든 공정을 창출한다. 공정설계모듈에서는 초기 소재 치수 및 종류의 변화와 업세팅 및 전방 압출순서의 변화를 통하여 기능과 가공 가능성

검사모듈에서 창출된 공정에 대하여 성형 단계수 감소와 성형하중 균일화의 관점에서 재설계를 수행하여 제품에 가장 적합한 공정을 선택한다. 금형설계모듈에서는 탄성유한요소해석을 수행한 후 후벽 원통이론의 탄성해와의 연계를 통하여 금형의 각부분의 응력을 계산할 수 있다.⁽²⁾ 보강링의 설계, 다이인서트 수직 및 수평분할 등을 수행하여 다이세트에 최대 허용 내압을 갖도록 최적의 설계 변수값을 구하고 이를 토대로 금형설계도면을 자동적으로 창출시킨다. 창출된 공정 및 금형도면의 타당성을 DEFORM 과 ANSYS 를 이용하여 검증했다.

2. 시스템의 구성 및 작동원리

시스템은 입력 및 형상처리 모듈, 가공가능성 검사모듈, 공정설계모듈 및 금형설계모듈로 구성되었으며, 이에 대한 알고리즘을 Fig. 1 에 나타내었다.⁽³⁾

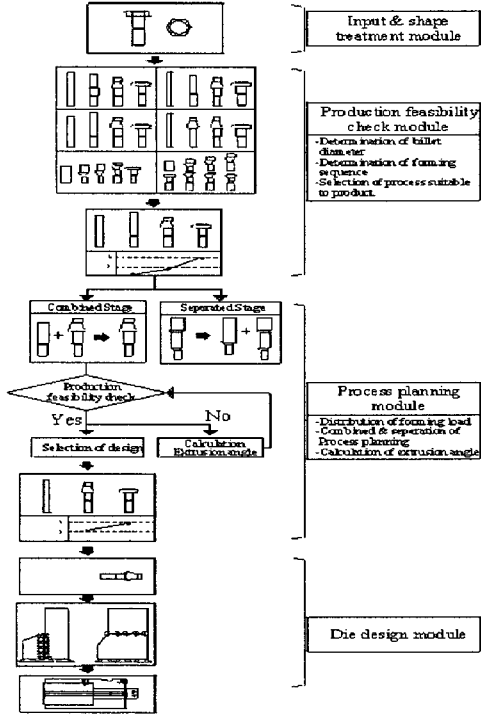


Fig. 1 Configuration of the system

2.1 입력 및 형상처리 모듈

입력 및 형상처리모듈은 내간 가공될 제품의 재질과 치수 및 공차를 사용자로 하여금 입력시키면, 제품의 형상데이터를 설계에 용이한 수치데이터로 변환시킨다.

2.2 가공가능성 검사 모듈

가공가능성 검사모듈에서는 입력 및 형상처리 모듈에서 인식된 단조품 형상을 성형할 수 있는 소재의 직경을 정하고 각 소재직경에 따라 가공 가능한 공정도면들이 설계규칙에 의하여 창출된다.

2.3 공정설계 모듈

공정설계모듈은 가공가능성 검사모듈에서 선택된 공정설계도면에 대하여 공정순서, 공정수, 성형하중, 중간단계의 기하학적 형상, 성형성, 변형률등을 고려하여 창출된 도면들 가운데 제품에 적합한 공정설계 도면을 선택한다.

2.4 금형설계 모듈

금형설계모듈에서는 공정설계모듈에서 창출된 최종적인 공정의 형상 정보를 가지고 금형에 최대

허용내압을 증가시키기 위해 보강링 설계, 다이의 분할 등을 수행하여 Fig. 2 나타난 설계변수에 대하여 최적 변수값을 구하여 이를 토대로 금형 설계도면을 자동적으로 창출시킨다.

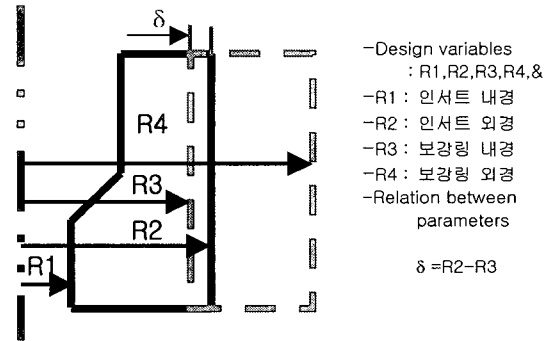


Fig. 2 Geometrical variables for the optimization model

3. 시스템의 적용 및 고찰

준축대칭 제품들 가운데 본 연구에서는 현재 산업현장에서 생산중인 재질이 S45C 육각머리볼트로 선정하였다. Fig.3 와 같은 육각머리볼트 제품을 개발된 시스템에 적용시켜 각 모듈에서 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

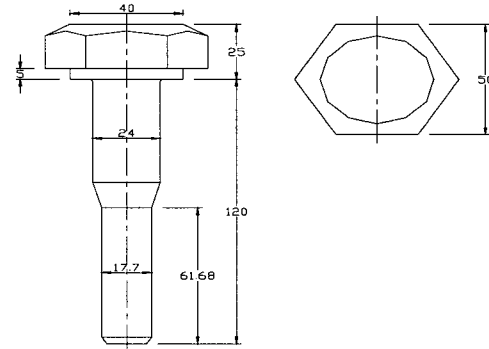
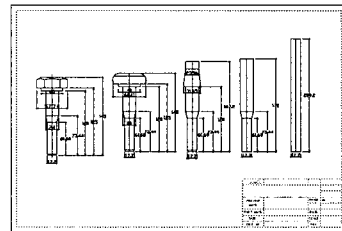


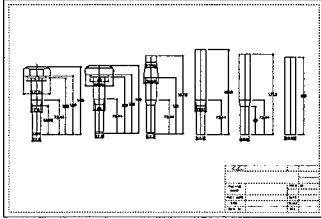
Fig. 3 A sample drawing of hex bolt, M24

3.1 가공가능성검사모듈에의 적용

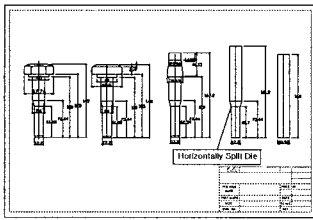
설계규칙에 의하여 결정된 소재의 지름(17.7mm, 23.93mm, 26.5mm)으로 본 모듈에서 수행된 공정을 Fig. 4(a) ~ (d)에 나타내었다.



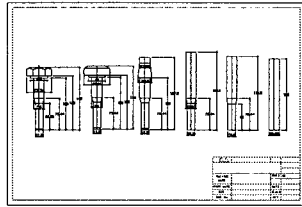
(a) In case of the billet diameter, 17.7mm



(b) In case of the billet diameter, 23.93mm



(c) Combined process of the billet diameter, 23.93mm



(d) In case of the billet diameter, 26.5mm

Fig. 4 Automated process planning drawings generated according to the design rules

Fig. 4(a)는 볼트의 아랫단(나사산 가공부분)을 소재의 지름(17.7mm)으로 하여 창출된 공정으로 모든 공정이 업세팅으로 이루어졌다. 이 공정에서는 볼트의 가장 중요한 나사부분이 한번도 가공회화를 받지 않기 때문에 매우 약하다. Fig. 4(b)는 볼트의 중간단을 소재의 지름(23.93mm)으로 하여 창출된 공정으로 50% 구속압출과 10%비구속압출로써 볼트의 나사부를 성형하고 난후 머리부분은 업세팅으로 성형된다. Fig. 4(c)는 중간단을 소재의 지름으로 하여 창출된 공정으로 다이의 수평분할을 통하여 금형의 최대허용내압을 증가시켜 공정수를 감소시켰다.⁽⁴⁾ Fig. 4(d)는 가장 균형잡힌 공정을 수행 할 수 있는 소재의 직경을 계산한 후 그것을 소재의 지름(26.5mm)으로 하여 창출된 공정으로 압출비의 조절로 성형하중의 균일화를 시켰지만, 공정수가 늘어 나는 단점이 있다.

3.2 공정설계모듈에의 적용

가공가능성검사모듈에서 창출된 Fig. 4(a)-(d)의 공정들 가운데 중간부분의 기하학적

형상 및 나사산의 강도를 고려하여 제품에 적합한 공정은 Fig. 4(b)와 (c)이다. 현재 생산현장에서 다단포머의 형태가 4 단이상이면 Fig. 4(b)의 공정을 사용할 수 있으나 공정수의 감소와 각 공정간의 성형하중의 균일화가 이루어진 Fig. 4(c)로 선택한다. 또한 Fig. 5 에 의하면 (c)공정의 하중영역은 8 ~ 24kgf/mm² 로 (b)공정의 하중영역 6 ~ 24 kgf/mm² 비하여 성형하중분포가 균일함을 알 수 있다.⁽⁶⁾

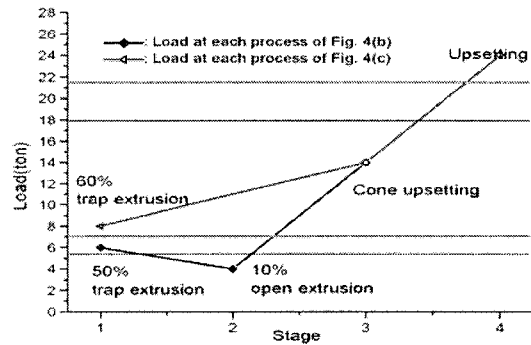


Fig. 5 Comparison of deviation of the forming load distributions from the area of forming load

3.3 금형설계모듈에의 적용

공정설계도면으로부터 금형의 최적분할 직경비, 최대허용내압, 간섭량, 접촉면압, 반경 및 접선방향의 응력을 계산한 후 다이인서트, 보강링도면이 자동적으로 창출되어진다. 금형과 공작물의 기계적인 특성은 Table. 1 과 같으며, 인서트와 보강링사이의 마찰조건은 전단마찰상수를 0.1 로 하였다.

Table 1 Mechanical properties of the workpiece, die and stress ring

	AISI 1045 (Workpiece)	W.C. (Insert)	SKD 61 (Ring)
Modulus of Elasticity (Kgf/mm ²)	20,000	465,000	212,000
Poisson Ratio	0.3	0.24	0.3
Hardness (HRA)	-	92.0	77.0
Yield Stress(Kgf/mm ²)	54.08	273.7	117.2

금형의 수명을 향상시키는 인자로는 탄성변형, 마모, 반복응력, 열응력, 탄성계수의 변화, 소성변형, 최대응력 등 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 피로파괴의 균열이 시작되는 금형 내곽면에서의 원주방향응력을 주요인자로 했다.⁵ 금형설계도면의 타당성을 검증하기 위하여 ANSYS 를 이용하여 금형의 강도평가를 수행했다.

우선 성형성 평가에 사용된 DEFORM 데이터 가지고 보간력(interpolate forces) 기능을 이용하여 소재로부터 금형에 전달되는 하중값들을 Fig. 6이 나타내었다.

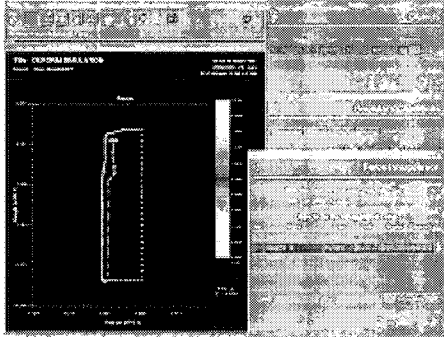


Fig. 6 The procedure of DEFORM simulation using the interpolated forces from part to insert

추출하여 ANSYS 의 좌표값과 하중값으로 변환하고 보강링과 다이인서트 사이의 접촉을 접촉요소(contract 172 element, target 169 element)로 모델링하여 강도해석을 수행한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

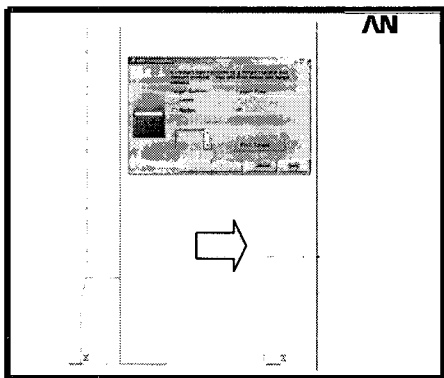


Fig. 7 The procedure of ANSYS simulation using the contact pair between die insert and stress ring

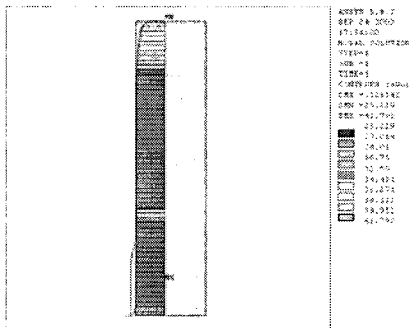


Fig. 8 Contact pressure between the insert and the stress ring

Fig. 8은 보강링과 인서트 사이에서의 열박음에 의해서 발생하는 내부압력분포를 나타내고있다. Fig. 9와 Fig. 10은 Table. 2의 조건에 따라서 인서트와 보강링의 응력변화를 나타낸 것이다.

Table 2 Dimensions of outer diameters of insert and stress ring

	outer diameter of insert(mm)	outer diameter of stress ring(mm)	Clearance (mm)
Case 1	56	110	0.14
Case 2	58	110	0.14
Case 3	60	110	0.14
Case 4	62	110	0.14
Case 5	64	110	0.14
Case 6	66	110	0.14
Case 7	68	110	0.14
Case 8	70	110	0.14

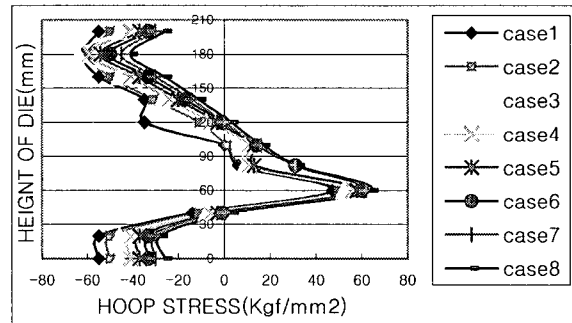


Fig. 9 Hoop stress in the inner diameter of insert according to the diameter ratios

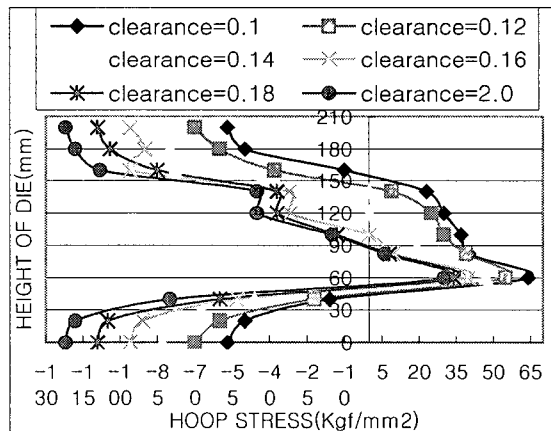


Fig. 10 Hoop stress in the inner diameter of insert

according to interferences

일정한 금형의 분할비에 대하여 공차량 변화에 따른 인서트와 보강링의 응력변화를 나타내었다. 각각의 경우 인서트의 외경은 $\Phi 60\text{mm}$, 공차량은 0.14mm 까지 사용 할 수 있었다. 인서트에 최대의 압축잔류응력을, 보강링에는 최소의 인장응력을 발생시키는 case3 에 대한 해석결과를 Fig. 10 나타내었다.

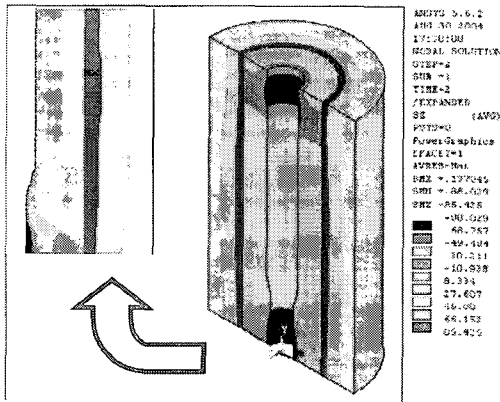


Fig. 10 Tangential stresses of the die insert for the trap extrusion with the extrusion ratio, 60%

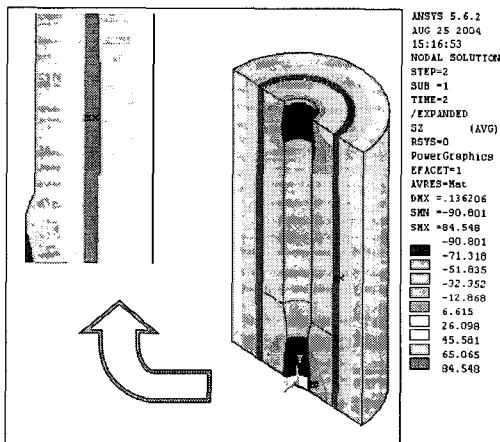


Fig. 11 Tangential stresses of the die insert for the 60% trap extrusion with the horizontal split die

60%구속 압출에서는 인서트 내경에서 $\sigma_r = -98.51\text{Kgf/mm}^2$, $\sigma_\theta = 47.2\text{Kgf/mm}^2$ 이고, 인서트 외경에서 $\sigma_r = -37\text{Kgf/mm}^2$, $\sigma_\theta = -9\text{Kgf/mm}^2$ 로서 이는 작업 중에 다이 인서트에 인장응력을 허용하지 않는다는 설계규칙에 위배된다. 그리하여 본 모듈에서는 Fig. 11 와 같이 다이의 수평 분할에 의한 강도 해석을 수행했다. 금형의 수평

분할에 의한 인서트 반경방향응력 $\sigma_r = -77\text{Kgf/mm}^2$, 접선방향응력 $\sigma_\theta = -12\text{Kgf/mm}^2$ 이 인서트에 압축 응력인 상태로 작용하고 있으므로 금형이 안전함을 알 수 있다. 따라서 60% 구속압출공정도 다이의 수평분할을 통하여 한 공정으로 수행하는 것이 가능함을 알 수 있다.

4. 결론

개발된 시스템의 공정설계모듈에서는 공정수의 감소와 각 공정간의 성형하중 균일화를 통하여 제품에 가장 적합한 공정을 선택하며 금형설계모듈에서는 보강링과 인서트의 억지끼워 맞춤으로 발생하는 접촉면압, 변위 및 응력분포를 계산할 수 있으며, 60% 구속압출 공정에 대하여 다이의 수평분할을 통하여 공정이 가능하도록 했다.

참고 문헌

1. Chul Woo Park, Jung Hun Kang, Joon Ho Lee, Chul Kim, Moon Saeng Kim and Jae Chan Choi, "A Study of Automated Process Planning and Die Design for Multi Former-Bolt Products," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 29-38, 2003.
2. Hong Seok Kim and Young Taek Im, "Expert System for Process Design of Cold Forging with Redesigning Scheme," *Transactions of the KSME*, Vol. 18, No. 8, pp. 2039-2052, 1994.
3. KURT LANGE "HANDBOOK OF METAL FORMING," McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1967.
4. Victor Vazquez, Daniel Hannan and Taylan Altan, "Tool life in cold forging - an example of design improvement to increase service life," *Journal of Materials Processing Technology* 98, pp. 90-96, 2000.
5. Howard H. Kuhn, "Optimum Die Design for Powder Compaction," *The International Journal of Powder Technology*, Vol. 14, No. 8, pp. 259-275, 1978.
6. S. C. An and Y. T. Im, "Optimal Design of Dimension of Extrusion Die with Single Stress Ring," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 11, No. 4, pp. 363-370, 2002.