한국공작기계학회지 Vol.19 No.1 2010. 2. pp. 33~41
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

인텀샤프트 일체형 유니버설 파이프 조인트용 다단조금형의 단조공정해석

권혁홍*, 문관진+, 송승은++

(논문접수일 2009. 05. 22, 심사완료일 2009. 12. 10)

Forging Process Analysis of the Multi-forging Die for the Unified Universal Pipe Joint of the Intermediate Shaft

Hyuk-Hong Kwon*, Kwan-Jin Moon+, Seung-Eun Song++

Abstract

This study was aimed at the design of the dies for the unified pipe joint of the intermediate shaft using the computer simulation to shorten the period of production, on the basis of the process planning which was designed by the field experts. In the computer simulation, 'Deform-3d' and 'eesy-DieOpt' have been used, which are the commercial process analysis and die design program. Through the process analysis, we could know the propriety of the forming process, the inner pressure of the die and the suitable fitting pressure between the insert and the sleeve which was not showing any positive tangential stresses in the insert. Through the simulation of die design, we could know the number of the stress ring, the diameter ratios, the stresses of the die, the shrink fitting tolerance and temperature in the condition of the already determined maximum outer die diameter of the multi-stage former. The validity of the die design using the computer simulation was analyzed by the experiments and the results were satisfactory. As the results of this study, the new and easy die design system for multi-forging has been developed.

Key Words : Intermediate shaft(인텀 샤프트), Unified pipe joint(일체형 파이프 조인트), Multi-forging(다단조), Die design(금형설계), Forging process analysis(단조공정해석)

* 대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과 (hhkwon@daejin.ac.kr)
주소: 487-711 경기도 포천시 선단동
\+ 대진대학교 대학원 기계설계공학과
++ 대진대학교 대학원 기계설계공학과, (주)드림텍

1. 서 론

인텀 샤프트(intermediate shaft)는 스티어링 칼럼과 조향기어박스 사이에 장착되어 조향핸들의 회전을 스티어링 칼럼과 조향기어 박스 연결부의 각도에 관계없이 전달하도록 하는 조향장치의 주요 구성 요소이다. 인텀 샤프트는 유니버셜 조인트(universal joint)와 스티어링 칼럼과 조향기어 박스에 동력을 전달하기 위해 연결되는 핀치요크(pinch yoke)로 구성되며 본 연구에서 다루고자 하는 유니버셜 조인트는 Fig. 2와 같이 샤프트 조인트와 파이프 조인트로 구성되어져 있다. 기존 유니버셜 조인트의 가공공정은 단조 공정에 의하여 성형되는 샤프트부와 프레스공정에서 축관 및 세레이션을 성형하는 파이프부를 프레스 또는 주조로 성형되는 요크부에 용접 가공을 하여 일체화하는 것이 일반적이다.

용접 가공은 가공이 용이하다는 장점이 있으나 단시간에 국부적으로 고열을 가해 재료를 접합하므로 요크부와 샤프트와 파이프부 접합부에 고열에 의한 가공부 재질 변화에 의한 국부적인 물성 변화가 발생하고, 용접균열 수축 변형 및 잔류 응력을 발생시키는 단점을 내포하고 있어 자동차 부품의 신뢰성을 하락시키는 잠재적 요인이 되고 있다.

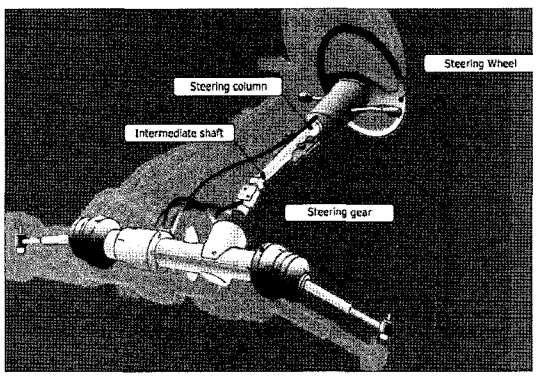


Fig. 1 The structure of steering

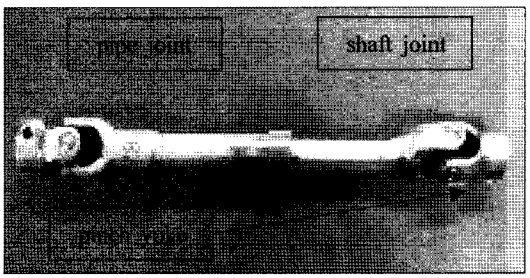


Fig. 2 Components of intermediate shaft

본 연구는 요크부와 파이프부가 단조공정에 의해 일체형으로 구성되는 일체형 파이프 조인트 개발에 목적을 둔다. 냉간단조 가공법은 재료의 기계적 성질을 향상시킬 수 있으며, 소재의 손실을 줄이고, 고도의 성형성과 고강도가 요구되는 제품을 저렴한 비용으로 대량 생산 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 치수의 정밀도를 높일 수 있으며, 표면의 상태를 향상 시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 냉간단조 공법은 금형의 파손 및 마모, 응력집중에 의한 국부적인 변형이 생기기 쉽고, 공구 및 금형수명의 제한을 크게 받으며, 강성이 높은 고가의 금형재의 사용 및 정밀가공에 의해 제품생산 비용이 높아질 수 있다. 이에 관하여 단조설계 검증 단계에서 CATIA와 Deform-3d[1,2]를 통한 공정해석으로 타당성을 검토하고 새로운 공정 제시와 실제로 금형을 제작 실험하여 공법의 유효성을 검증하였다. 따라서 본 연구를 통하여 자동차부품의 고강성과 경량화 및 신뢰성, 제품원가의 경쟁력을 꾀할 수 있을 것이다.

2. 다단조 공정설계

2.1 파이프 조인트의 조향부품 설계

현장 금형전문가와 함께 성형공정 설계된 바와 같이 각 공정 설계 단계내의 성형공정해석을 통하여 성형공정설계의 유용성 및 타당성을 검토하였다. 따라서 Fig. 3과 같은 일체형 파이프 조인트의 요크부에 대한 성형공정 설계를 수행하였다. 절단된 소재를 단조로 업셋팅하여, 중공형 파이프부로 성형될 부분과 요크부로 성형될 부분을 개략적으로 나누어서 ①파이프부 하단 자릿면 부분의 내경 예비성형공정과 ②파이프부 내경을 성형하는 공정, ③파이프 내부에 일정한 깊이의 내경 홀을 성형하는 공정, ④요크부 예비 성형 공정, ⑤요크부의 내부에 일정한 깊이의 홈을 성형하여 요크부의 형상을 성형하는 공정, ⑥파이프부에 형성된 내경 홀을 연장하여 관통 성형하는 공정의 6공정으로 설계하였다[3,6].

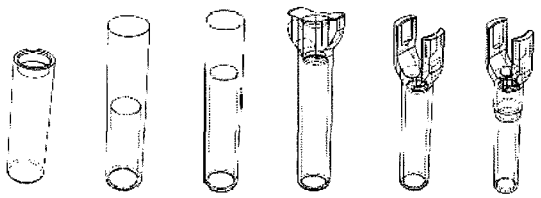


Fig. 3 Forming design for the yoke of unified pipe joint

Table 1 Condition for FEM simulation

Material	SWRCH 10A
Stress-strain relation	$\bar{\sigma} = 60.146\,\bar{\epsilon}^{0.083}$ $[MPa]$
Friction factor	m=0.05
Size	L=90.3mm, Φ=24.9mm

3. 유한요소해석

3.1 파이프 조인트의 성형공정해석

본 연구에서 다루는 파이프 조인트는 머리부가 이형의 형상을 띄고 있어 축을 기반으로 원형의 제품 성형해석프로그램인 Easy-2-form의 2차원 CAE 성형공정해석 프로그램[7]이 적합하지 않아 3차원 이형 제품 성형해석에 적합한 Deform-3D로 성형해석하였으며, 금형설계 시에만 Eesy-DieOpt s/w[7]를 활용하였다. 파이프 조인트의 성형공정해석을 위해서 Table 1과 같이 SWRCH 10A 소재를 사용하여 6공정 단계로 성형공정해석을 수행하여 각 공정별 유효응력과 변형률 그리고 하중선도를 나타내었다.

상기 파이프조인트 성형공정해석의 6단계 공정에서 유효응력, 변형률 및 하중을 정리하면 Table 2와 같다.

각 공정에서의 유효응력의 경우 변형속도와 온도, 유효 변형률 관계에 따른 각각의 항복응력 한계치 미만인 경우에 재료가 파손되지 않기 때문에 이를 고려하면서 성형 가능성을 검토하였다. 이들 공정 중 1~5번 공정까지는 다단조 성형기(Fig. 18)에서 수행되었고, 6번 공정은 파이프부의 내측에 샤프트조인트의 기어부와 대응하는 스플라인을 성형하는 공정으로 프레스공법을 이용한 다른 성형기에서 성형하였다(Fig. 19). 6번 공정에서 유효변형률이 85.7, 하중 6.58×10^5[N]로 각각 급격히 증가 하였는데, 이는 단조 공정품의 축관 및 타발공정의 극심한 변형률 때문인 것으로 판단된다. 5번 공정에서의 유효응력치가 공정품 전반에 걸쳐서 작용하고, 6번 공정을 제외한 타 공정보다도 높은 변형률과 하중치를 나타내고 있다. 이와 더불어 공정의 성형하중 능력이 성형기의 용량 범위 내에 있는지 확인해 보았다. 각 공정별 최대성형하중은 각각 14.2톤, 15.1톤, 17.8톤, 20.4톤, 27.8톤, 67.1톤 정도로 성형공정 수 6공정의 각 공정별 성형하중은 다단성형기와 스플라인 성형기의 성형하중이내에 있으며 충분히 안전함을 확인할 수 있다. 결국 설계된 공정은 소재의 성형한계치와 다단 성형기와 스플라인의 성형기의 성형능력을 고려하였을 때 공정이 적절하게 설계되었음을 판단할 수 있다.

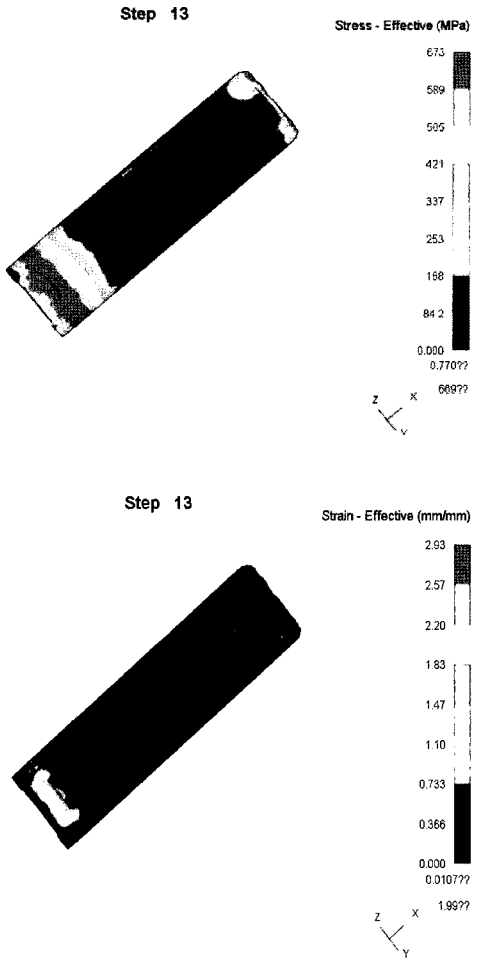


Fig. 4 Effective stress and strain of the #1 process

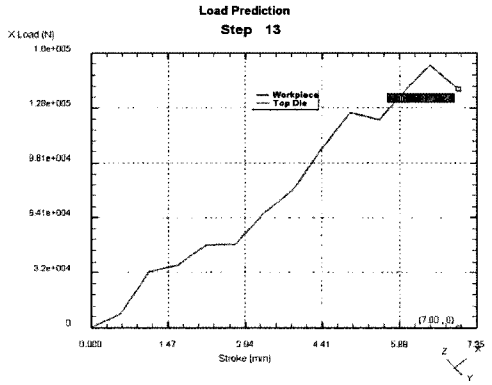


Fig. 5 Load-stroke curve of the #1 process

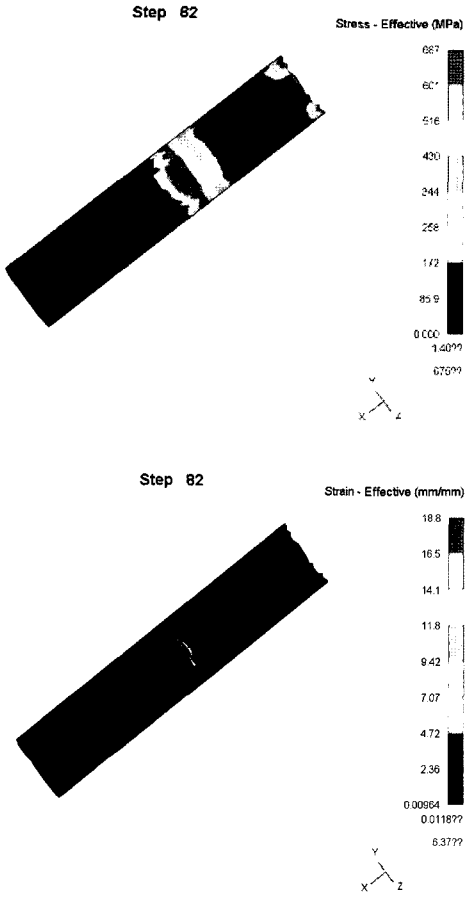


Fig. 6 Effective stress and strain of the #2 process

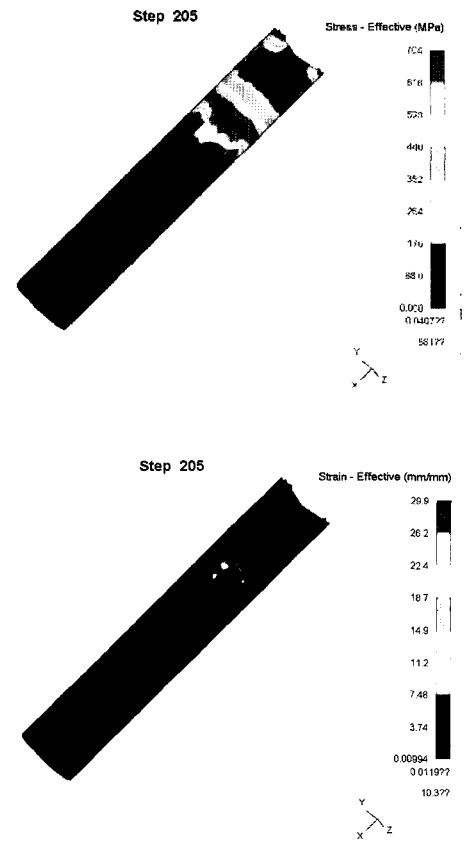


Fig. 8 Effective stress and strain of the #3 process

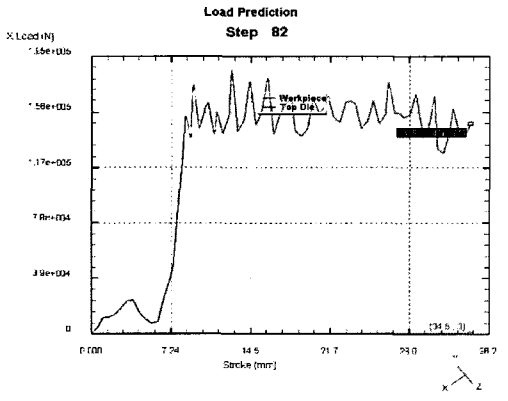


Fig. 7 Load-stroke curve of the #2 process

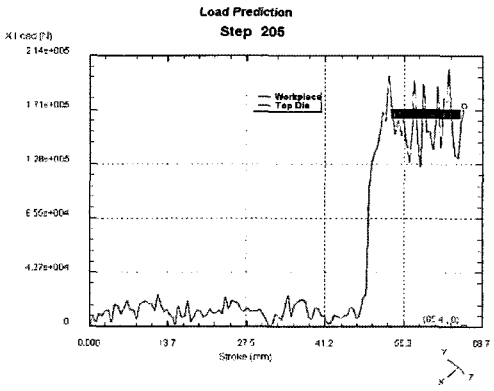


Fig. 9 Load-stroke curve of the #3 process

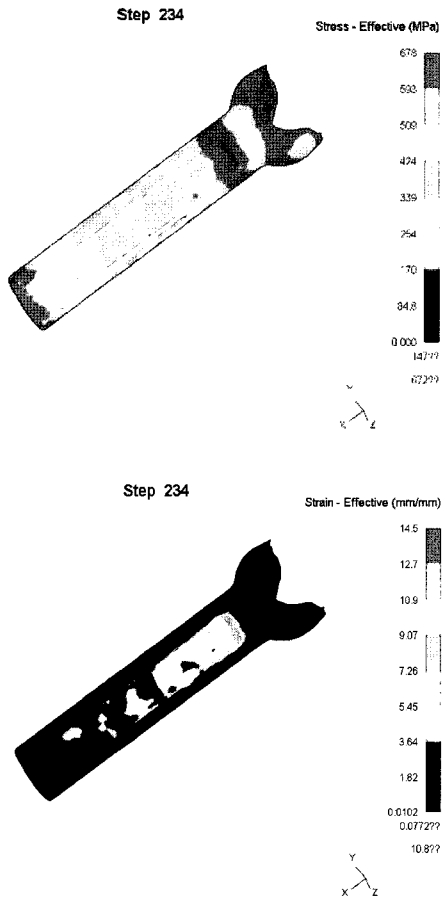


Fig. 10 Effective stress and strain of the #4 process

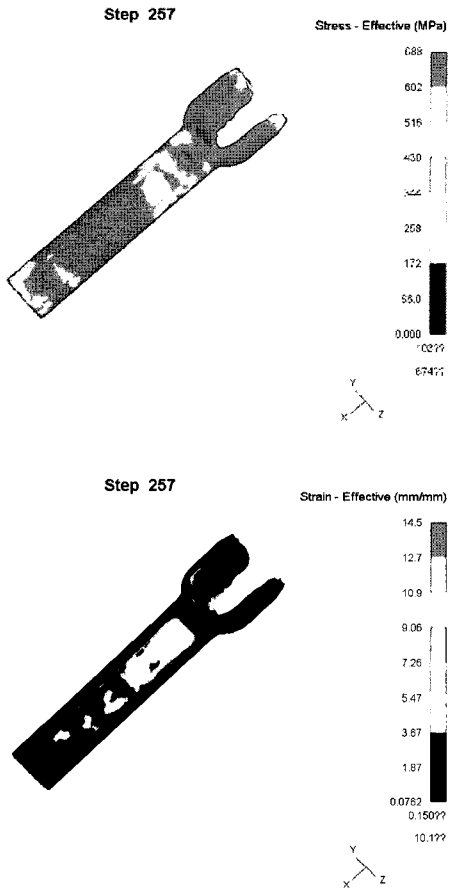


Fig. 12 Effective stress and strain of the #5 process

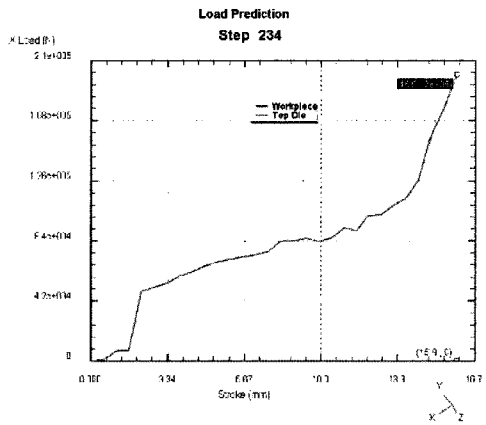


Fig. 11 Load-stroke curve of the #4 process

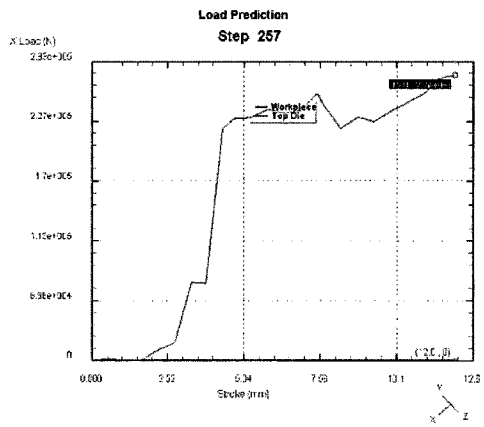


Fig. 13 Load-stroke curve of the #5 process

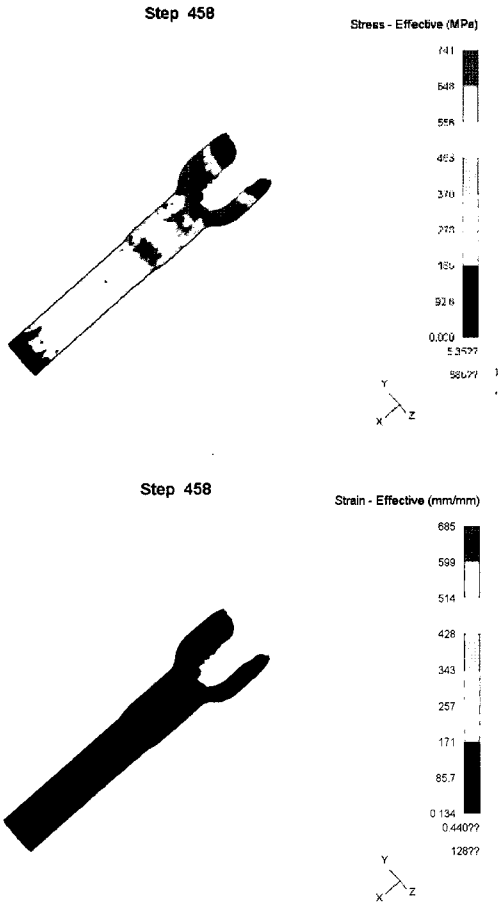


Fig. 14 Effective stress and strain of the #6 process

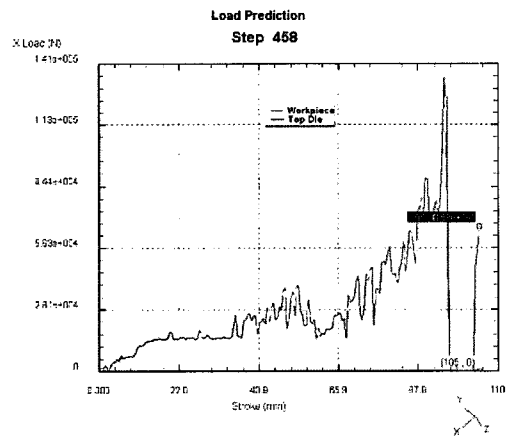


Fig. 15 Load-stroke curve of the #6 process

Table 2 Forming analysis results for the pipe joint

Process	Effective-stress [MPa]	Effective-strain [mm/mm]	Load×10^5[N]
#1	673	1.83	1.39
#2	687	7.07	1.48
#3	704	11.2	1.74
#4	678	9.07	2
#5	688	9.06	2.7
#6	741	85.7	6.58

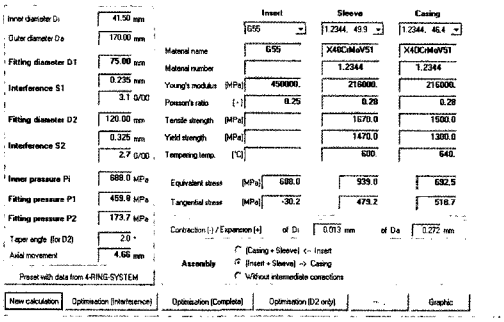
3.2 파이프 조인트의 다단조 금형설계

3.2.1 금형설계

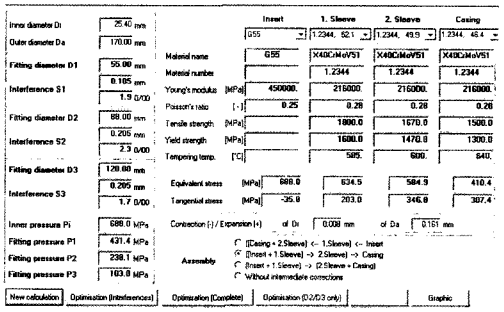
앞선 공정 해석을 통해 파이프 조인트의 다단조 금형설계를 위한 금형해석을 수행하였다. 여기서는 단조 공정품의 축관 및 타발공정의 금형설계 보다 eesy- 2-form의 eesy-DieOpt를 활용하여 금형설계를 수행하였다. 이중 5번 공정에 대하여 금형설계한 부분을 집중적으로 검토하였다.

5번 공정에서 공정품 전반에 걸쳐 약 688MPa의 응력치를 받으므로 초경 G7은 요크부, 목부, 로드부로 분할하고 각 분할 초경은 접선방향 응력(tangential stress) 값이 0보다 작아야 한다. 성형 시에 부하 받는 유효응력을 근거로 해서 금형설계 프로그램인 Eesy-DieOpt를 이용하여 금형설계한 결과를 Fig. 16에 나타내었다.

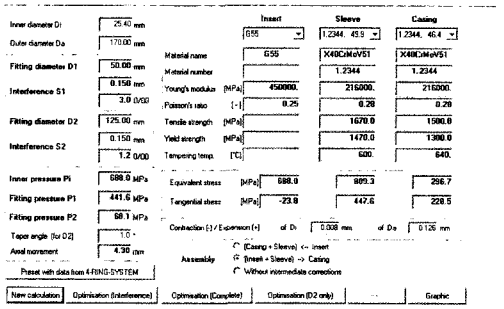
금형의 외경 사이즈는 Ø170mm이며 인서트의 외경(fitting diameter)을 Ø41.5mm로 하였을 경우 분할다이의 윗 부분은 3-ring시스템으로 688MPa의 예압을 견딜 수 있었으며, 이때 끼워맞춤공차는 2%~3%이다. 다이의 조립순서는 인서트와 보강링을 먼저 조립 후 케이스를 조립하는 것으로 하였다. 분할다이 중간 부분은 4-ring시스템으로 하였을 경우에 688MPa의 이상의 예압을 견딜 수 있었으며, 인서트의 외경은 Ø55mm, 제1 보강링의 외경은 Ø88mm, 제2 보강링의 외경은 Ø120mm, 끼워맞춤공차는 초경은 0.1mm, 슬리브(sleeve)는 각 0.2mm로 한 결과에서만 접선방향으로의 응력치가 0보다 작게 나타냈다. 제1 보강링의 재질은 STD61 (Hrc 52.1), 제2 보강링의 재질은 STD61(Hrc 49.9)이며 케이스의 재질은 STD61(Hrc 46.4)으로 하였다. 조립순서는 인서트와 보강링을 먼저 조립 후 여기에 다시 보강링을 씌워서 케이스에 조립하는 것으로 하였다. 분할다이 아래 부분은 윗부분과 마찬가지로 3-ring시스템으로 인서트의 외경은 Ø50mm, 보강링(sleeve)의 외경은 Ø125mm, 끼워맞춤공차를 0.15mm



(a) upper part of the split dies



(b) middle part of the split dies

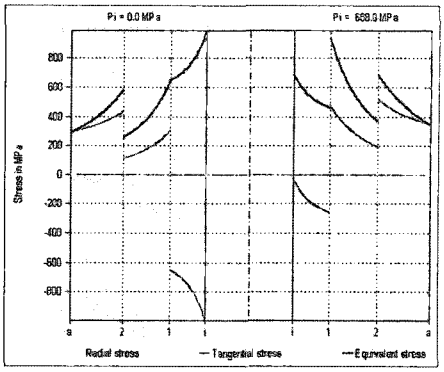


(c) lower part of the split dies

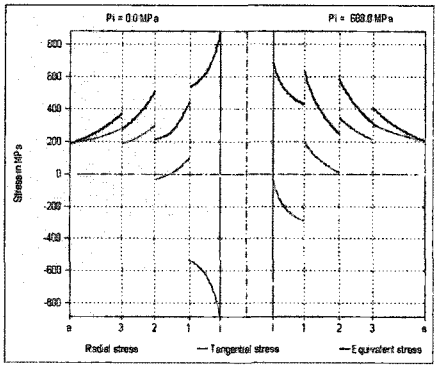
Fig. 16 Die design for the #5 process

한 결과 충분히 예압력을 견디는 것으로 판단되었다.

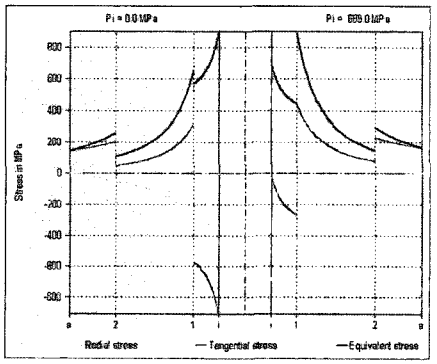
분할금형들의 응력분포도를 Fig. 17에 나타내었으며, 나타난 분할금형의 윗부분, 중간부분, 아래부분의 인서트, 제1 및 2보강링의 슬리브와 케이스의 상당응력과 원주방향응력 모두 사용된 재질의 성형조건 한계 범위내에 있음을 알 수 있었다. 이러한 해석내용을 근거로 하여 금형설계를 실시하였으며 각 공정별로 금형설계한 도면들은 다음과 같다.



(a) upper part of the split dies



(b) middle part of the split dies



(c) lower part of the split dies

Fig. 17 Distribution of stresses in the insert, sleeve and casing

3.2.2 파이프 조인트의 시제품 제작

① 원소재를 다단 포머기 압연공급부에서 공급하여 소재를 절단하고 절단된 소재는 파이프 조인트의 길이 및 체적

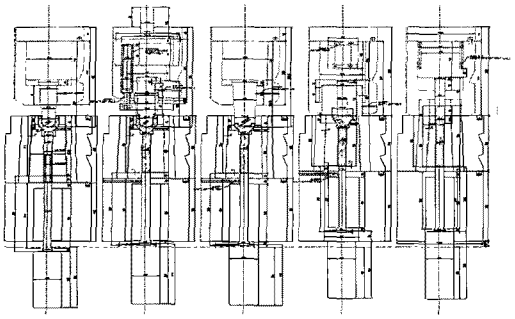


Fig. 18 Drawing of the die design

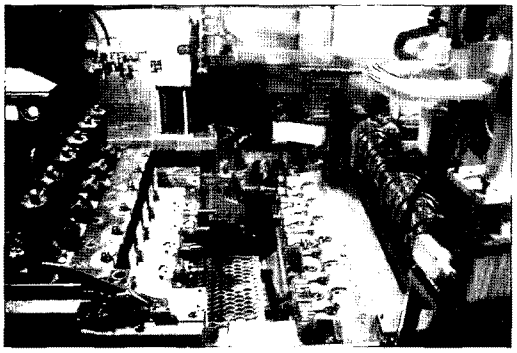


Fig. 19 Photo. of the multi-forging machine for the unified pipe joint

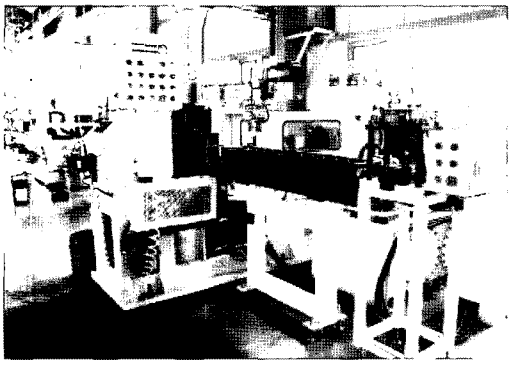
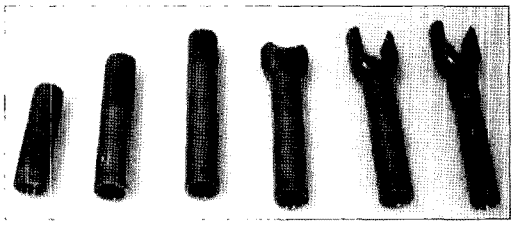


Fig. 20 Photo. of the spline forming machine for the unified pipe joint

과 압축되는 비율을 정확히 계산하여 진행된다.

② 절단된 소재는 이송장치에 의해 이동되며 다이스와 대응되는 방향으로 소재를 파이프부와 요크부를 일체형으로 성형하는 파이프 조인트 성형공정을 진행한다.



#1 process #2 process #3 process #4 process #5 process #6 process

Fig. 21 Photoes of products produced by the die for each process

③ 파이프부와 요크부로 성형될 부분을 개략적으로 나누어서 파이프부와 요크부에 관통홀이 성형될 부분인 중심자리면을 형성하고 요크부를 예비성형하는 제2공정과 요크부의 내부에 일정한 깊이의 홈을 형성하여 요크부의 형상으로 성형하는 제3공정, 파이프부의 내부에 일정한 깊이의 내경홀을 형성하는 제4공정, 파이프부에 형성된 내경홀을 연장하는 제5공정, 파이프부에 형성된 내경홀을 완전히 관통하는 제6공정으로 하여, 파이프 조인트의 개발 제품은 Fig. 19~20의 다단포머기와 스플라인 성형기에 장착된 금형을 통해서 Fig. 21과 같은 시제품 제작이 가능하였다.

4. 결 론

본 연구는 생산현장의 전문가가 경험에 의하여 어떤 형상의 최종제품을 성형하기 위한 각 공정설계 단계에서부터 성형공정해석을 통하여 공정설계의 유용성과 타당성을 검토하고 이를 근거로 금형을 설계하는 손쉬운 방법을 연구하였다. 그리고 이 방법을 통한 금형설계의 적절성을 실제로 금형을 제작하여 생산현장에서 일체형 파이프 조인트의 시제품 개발을 시도하였다. 이러한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 현장전문가의 경험과 지식을 컴퓨터 시뮬레이션과 접목시켜 성형해석을 통한 공정설계의 타당성을 검토하고, 이를 바탕으로 금형을 설계 제작하는 것은 시간과 비용을 절감하여 제품을 생산할 수 있는 아주 유용한 방법이다.

(2) 이 시스템을 적용하여 금형을 제작한 후 실험한 결과 양호한 제품이 생산되었으며, 실제로 생산현장에 적용하여 금형파손 없이 파이프 조인트의 대량생산 기반이 마련되었다. 따라서 공학적 지식이 많지 않은 현장전문가라도

손쉽게 활용할 수 있는 상용 성형해석 및 금형설계 프로그램을 적용한 새로운 형태의 금형설계 방법을 개발하였다.

(3) 향후 파이프조인트의 양산을 위해서는 최종 단조품의 스플라인 성형과 이에 대한 성형해석 등을 통해 시제품이 실차 적용 시 기존 제품과의 조향장치로서의 기능을 원활히 수행하는지에 대한 연구 검증을 지속적으로 수행할 예정이다.

후 기

이 논문은 2008학년도 대진대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 실험을 위하여 (주)드림텍의 도움에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Dassault, 2008, *Catia V5 R17 - User's Design Manual,* Dassault, France.

(2) Scientific Forming Technologies Corporation, 2007, *DEFORM™-3D User's Manual,* SFTC, Columbus, Ohio.

(3) Kwon, H. H. and Lee, B. K., 2005, "Process Analysis and Die Design for the Automobile Part Development by the Precise Cold Forging," *Proc. of the KSMTE autumn conf.*, pp. 109~114.

(4) Kwon, H. H., Lee, B. K., and Cho, H. Y., 2002, "A Study on the Automated Process Planning System for Cold Forging of Non-axisymmetric Parts using FVM Simulation," *J. of Material Processing Technology* . Vol. 130, No. 131, pp. 524~531.

(5) Kwon, H. H., and Lee, B. K., 2005, "Development of the Automobile part for the Engine Oil Leakage Prevention by the Precise Cold Forging," *Journal of the KSTP*, Vol. 14, No. 8, pp. 675~680.

(6) Lee, S. D. and Byon, S. K., 2005, "Design of the Radial Extrusion Process for the General-Purpose Flange Using Model Material," *Journal of the KSMTE*, Vol. 17, No. 2 pp. 114~120.

(7) CPM GmbH, 2003, *Eesy-2-form V4.2 & Eesy-DieOpt Manual*, http://www.cpmgmbh.de/