

특수열간공구강(DH32)을 이용한 선박연료펌프 플런저의 열간단조 기술개발 Development of Hot Forging Technology of Marine Fuel Pump Plunger using Special Hot Tool Steel (DH32)

*김현수¹, 이재권¹, 강호석¹, 장진형², #김용조³

*H. S. Kim¹, J. K. Lee¹, H. S. Kang¹, J. H. Jang², #Y. J. Kim(yohngjo@kyungnam.ac.kr)³
¹(주)용암금속, ²경남대학교 대학원 기계공학과, ³경남대학교 기계자동차공학부

Key words : Hot forging, Hot tool steel, DH32, SKD7, Pump plunger

1. 서론

최근 조선산업의 발달로 그 부품의 수요가 점점 커지고 있는 추세이며, 관련부품들을 대량 생산함과 더불어 원가를 절감하고 강도를 향상시킬 수 있는 제조방법으로서 열간단조기술이 점차 확대 적용되고 있다¹⁾. 선박 엔진용 연료펌프의 부품중 하나인 플런저(plunger)는 선박엔진의 구동에 있어서 연료펌프가 연료 분사량을 조절하는데 매우 중요한 역할을 하는 부품이다. 연료펌프는 최고 500℃, 1300bar 이상의 고온 및 고압의 환경에서 구동되기 때문에 플런저 등과 같은 핵심 부품들은 높은 압력과 피로에 대한 내구성을 높이기 위해 소재의 규정과 가공방법²⁾, 열처리 등에 대한 생산 공정이 철저히 관리되고 있다.

플런저는 SKD7 또는 DH32 특수 열간공구강(hot tool steel)을 사용하여 기계가공으로 제조하여 왔다. 그러나 기계가공에 의한 소재의 손실과 가공시간, 생산성 저하 등의 손실 비용이 매우 크다. 따라서 단조에 의한 부품생산 방법이 적합할 것으로 여겨진다.

기존의 연구에서 Alloy 718 등과 같은 특수 합금에 대한 단조공정 연구³⁾가 수행된바 있으나, SKD7, DH32 등과 같은 특수열간공구강 소재의 열간단조기술이 미흡하여 아직까지 단조에 적용하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 특수열간공구강인 DH32를 사용하여 선박연료펌프 플런저에 대한 열간단조 기술을 개발하였다. 이를 위하여 DH32 소재에 대한 열간압축시험을 수행하여 열간변형특성을 규명하고, Deform-3D 시뮬레이션에 적용하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 플런저를 성형하기 위한 블로커, 피니셔 금형설계와 예비성형체(preform)의 형상을 최적화^{4,5)}하였다. 또한 단조프레스의 용량을 고려하여 열간단조에 필요한 하중을 최소화 할 수 있는 공정을 설계하였다.

2. DH32의 특성 분석

2.1 재료의 성분 분석

본 연구에 사용된 DH32 소재는 일본의 DAIDO STEEL사에서 SKD 61종 열간공구강을 개량한 것으로 SKD7 소재에 비하여 고온에서 인성과 강도가 매우 우수한 특성을 가지고 있다. SKD7 및 DH32의 화학적 성분은 Table 1과 같으며, DH32의 미세조직을 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 열간압축시험

DH32에 대한 열간변형의 특성을 분석하기 위하여 가열온도 900℃, 1000℃, 1100℃, 1200℃로 압축시험편을 가열하여 각각 1mm/sec, 10mm/sec의 변형속도로 고온압축시험을 수행하였다. 고온압축시험을 위하여 20초 이내에 1100℃까지 가열되고, 30초 이내에 1200℃까지 가열할 수 있는 고주파코일 가열장치를 이용하였다. 열간압축 후 시험편의 표면상태와 조직을 분석하였다.

Table 1. Chemical compositions of SKD7 and DH32

	Chemical composition(%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
SKD7	0.32 ~0.42	0.8 ~0.12	~0.5	~0.03	~0.03	-	4.5 ~5.5	1.0 ~1.5	0.8 ~1.2
DH32	0.50	0.13	0.77	0.01	0.02	0.95	2.43	2.99	0.95

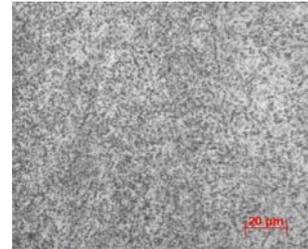


Fig. 1 Photograph of SEM for the DH32

3. 결과 및 고찰

3.1 열간압축시험 결과

1100℃에서 열간압축된 시험편은 Fig. 2(a)와 같이 표면에 아무런 결함을 발견할 수 없었으나, 1200℃의 압축시험편에서는 Fig. 2(b)와 같이 열간취성 파손이 발생하였다. 열간취성 파손이 발생하는 보다 정확한 온도를 구하기 위하여 1150℃에서 추가로 열간압축시험을 수행한 결과 미세한 열간취성이 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 DH32 소재는 1100℃ 온도의 범위에서 열간단조하여야 함을 알 수 있었다.

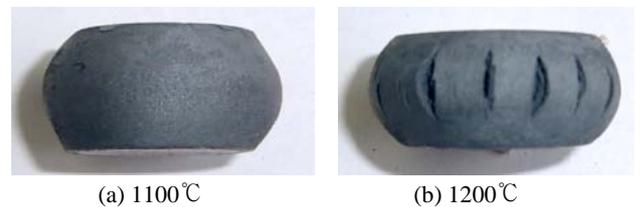


Fig. 2 Photographs from the simple compression test

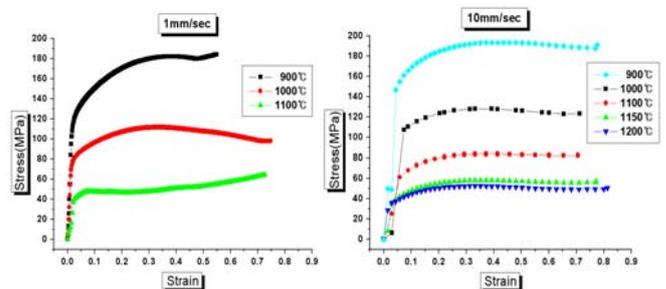


Fig. 3 Stress-strain curve for the DH32

일반적으로 프레스단조는 높은 변형속도를 가지고 있으므로, 10mm/sec 변형속도에서의 시험결과를 상세히 분석하였다. Fig. 3에서 10mm/sec 변형속도에 대한 응력-변형률 곡선을 살펴보면 900℃, 1000℃ 및 1100℃의 온도 범위에서는 온도가 증가할수록 유동응력 곡선이 급격히 감소함을 확인할 수 있다.

3.2 조직분석 결과

변형속도 10mm/sec에서 1000℃, 1100℃, 1150℃, 1200℃의 열간압축시험 후 시험편의 조직 분석을 수행한 결과 Fig. 4와 같이 1000℃ 및 1100℃ 온도에서의 조직은 전체적으로 균질한

상태의 양호한 조직을 나타내고 있으나, 1150℃ 및 1200℃ 온도에서의 시험편은 조직의 크기가 20μm 이상으로 매우 조대화되어 있고, 또한 입자들 사이에서 기공과 균열에 의한 탄화층을 관찰할 수 있었다.

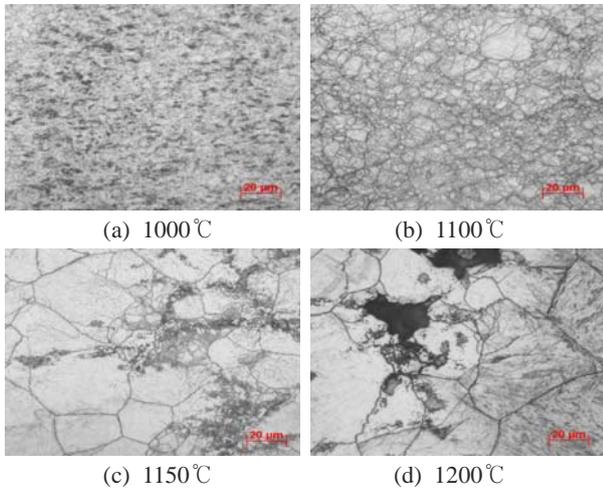
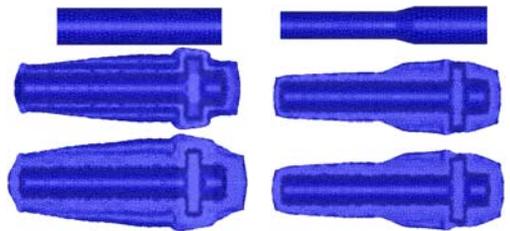


Fig. 4 SEM photographs of hot compressed specimen(× 500)

3.3 FE 시뮬레이션 결과

DH32 소재를 이용한 플런저의 열간단조 공정에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 5(a)는 환봉상태의 초기소재를 사용하고 소재의 회수율을 높이기 위하여 블로커 금형에 비드를 생성하여 단조한 경우의 변형 형태이다. 이때 플런저의 날개부 형상을 완전히 성형시키기 위해서는 많은 양의 플래쉬가 발생한다. Fig. 5(b)는 예비성형체를 사용하여 단조한 경우이며, 블로커 금형에 비드 없이 단조하여도 플런저의 날개부를 완전히 성형시킬 수 있으므로 적은 양의 플래쉬가 발생하게 되어 상대적으로 낮은 하중으로도 단조할 수 있을 것으로 예상된다.



(a) Initial billet and bead (b) Preform and no bead
Fig. 5 Deformations estimated from FE simulation

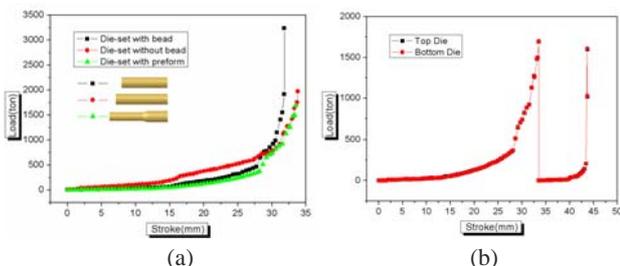


Fig. 6 Forging load of blocker process

Fig. 6(a)의 그래프에서 블로커 금형에 비드를 설치하여 단조하였을 경우 3200ton 이상의 단조하중이 예상되었고, 초기소재를 보다 길게 적용하여 비드 없이 단조할 경우 2000ton 정도의 하중이 예상되었다. 비드를 제거한 경우에도 2500ton 용량의 단조프레스가 요구 되므로, 예비성형체를 적용하여 단조하중과 성형성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 해석 결과 Fig. 6(b)의 그래프에 나타난바와 같이 단조하중이 1600ton 정도로 예측되었다.

해석결과에서 알 수 있듯이 비드를 설치한 경우에 비해 그렇지

않은 경우에는 약 1200ton의 단조하중이 감소되었으며, 예비성형체를 적용하였을 경우에는 400ton 정도의 단조하중을 감소시킬 수 있었다.

3.4 열간단조 시험 결과

시뮬레이션의 결과를 바탕으로 1600ton 용량의 단조프레스를 이용하여 실제 제품을 생산하였으며, 예비성형체를 1100℃로 가열하여 브로커공정과 피니셔공정을 통해 제품을 생산한 결과 Fig. 7과 같이 시뮬레이션의 결과와 거의 동일한 제품을 얻을 수 있었다.



Fig. 7 Plunger product from finisher process

4. 결론

본 연구에서는 특수열간공구강인 DH32를 사용한 열간단조 기술을 개발하였으며, 열간압축시험과 FE 시뮬레이션을 수행하고 이를 바탕으로 실제품 생산에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 열간압축시험을 수행한 결과, DH32 소재는 1150℃ 이상의 온도에서 열간취성이 발생하는 것을 알 수 있었다.
- 2) 열간압축시험편의 조직분석의 결과로부터 1150℃ 이상의 온도 범위에서는 조직의 크기가 20μm 이상으로 매우 조대화되고, 입자들 사이에 기공과 탄화층의 생성이 관찰되었다.
- 3) 환봉형상의 초기소재를 사용한 단조에서 단조하중은 변형 유동제어를 위해 금형에 비드를 설치하였을 경우에 비해 약 38%의 하중이 감소하였다. 또한 예비성형체의 적용에 의해 약 20%의 단조하중을 감소시킬 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부의 2008년도 지역산업기술개발사업(공통기술개발사업, 과제번호 : 70003329)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. B. C. Hwang, W. H. Lee, W. B. Bae, C. Kim, "Process Planning and Die Design for the Super Hot Forging Product, the Piston Crown Used in Marine Engine", Transactions of Materials Processing, vol. 17, pp. 600-606, 2008
2. T. H. Kim, J. H. Cha, H. S. Jeong, J. R. Kim, S. H. Lee, "Hornig Equipment Development of Internal Combustion Engine Fuel Pump for Plunger & Barrel Efficiency Evaluation", Korean Society of Marine Engineers, June 22, pp.331-332, 2006
3. J. H. Kim, N. Y. Kim, C. H. Lee, J. T. Yeom, J. K. Hong, D. K. Baek, S. G. Choi, N. K. Park, "Development of Alloy 718 Nozzle for Ramjet Propulsion Component", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, vol.11 no.4, pp. 76-82, 2008
4. H. S. Kim, Y. J. Kim, "A Study on Die Forging of a Hollow T-shaped Part", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, vol.21 no.1, pp.32-39, 2004
5. R. Balendra, Y. Qin, "Material-flow Considerations for the Design of Injection Forging", Int. J. Manufacturing Science and Engineering, 1997, Vol. 119, pp. 350-357, 1997