한국소성가공학회 2009년도 추계학술대회 논문집 pp. 425~428

초내열합금 링제품의 형상링 압연 제조 기술

김태옥[1] · 김국주[1] · 김남용[1] · 이진모[1#] · 염종택[2]

Profile Ring Rolling Manufacturing Technology of Alloy 718

T. O. Kim, K. J. Kim, N. Y. Kim, J. M. Lee and J. T. Yeom

Abstract

Aerospace engine application needs to stand high temperature and pressure. Because of its mechanical properties such as high strength at high temperature, Alloy 718 is used aerospace engine application about 80%. But alloy 718's mechanical properties cause some problem to manufacturing profile ring like damage of material and mold. In this study, alloy 718's mechanical properties investigated for knowing its formability and using FE-Simulation for designing profile ring roll process and mold shape. Profile ring rolling processing is designed with "Initial material→Blank→Linear Ring→Profile ring". Blank's heating temperature is setting 1100℃ for manufacturing a trial profile ring on the basis of FE-Simulation. As a result of manufacturing alloy 718 profile ring, it is possible to make near target profile shape ring with all of the processing condition which gives in this study.

Key Words : Alloy 718, Profile Ring, FE-Simulation, Open die forging

1. 서 론

초내열합금(Alloy 718)은 Ni-Cr-Fe 기 합금 조성에 Nb, Mo, Al 및 Ti 가 첨가된 합금으로써 각 합금원소에 의한 고용 및 시효 경화효과를 극대화[1~2]하여, 고온에서의 기계적 특성을 개선한 합금으로 주로 고온, 고압에 노출되어 있는 추진기관용 핵심 부품의 80%정도가 니켈기 초내열합금으로 사용되고 있다.

니켈기 초내열합금은 고온 강도 및 경도가 높고 단조 공정조건이 까다로워 성형도중 소재나 금형이 파손되는 문제점이 있다.[3] 항공기 엔진용 노즐, 플랜지 등과 같은 링 제품의 제조시 기존 링 단조공정(ring forging)으로는 품질과 생산성을 충족시키기 어렵기 때문에 작업속도가 빠르고 수율이 타공정에 비해 우수한 링 압연(ring rolling)공정에 의한 성형기술 개발이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 기존공정에 비해 소재회수율이 높은 링롤링 방식으로 항공기 엔진용 초내열합금 링 부품을 개발하여 가공량을 줄이고 투입소재를 최소화 하여 기존 제품과의 가격 경쟁력을 확보하고자 하였다. 특히, 초내열합금(Alloy 718)의 고온 성형성 및 기초물성을 파악 후 FE-Simulation을 통해 초내열합금의 형상 링 부품의 압연공정을 설계하여 형상제어를 통한 초내열합금 형상 링부품의 공정 및 금형을 설계하고, 시제품을 제작하였다. Fig. 1은 Alloy 718 소재의 형상링 제작 대상품을 나타내고 있다.

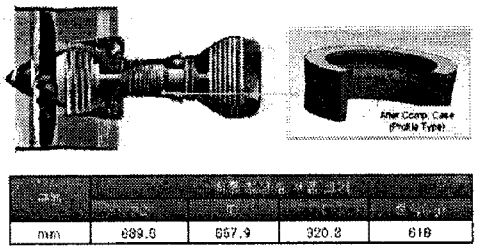


Fig. 1 Alloy 718 소재의 형상링 제작 대상품

1. ㈜ 태웅
2. 한국기계연구원 부설 재료연구소
㈜ 태웅, jinmo.lee@taewoong.com

2. 초내열합금(Alloy 718)의 기계적 특성

초내열합금(Alloy 718)은 타소재에 비해 높은 고온 유동응력과 좁은 성형 범위를 가지고 있어서 제한된 Process Window 인한 잦은 가열에 따른 공정 및 비용이 증가한다. 또한 성형조건에 따라 제품 부위별 미세조직의 불균일이 발생한다. 그러므로 재료의 열적, 기계적 특성을 파악하여 링 압연 공정시 발생할 수 있는 문제점을 파악하고 개선하기 위해 Alloy 718 소재의 미세조직을 분석 및 고온 압축시험을 실시하였다. Fig. 2 에서는 Alloy 718 소재의 원소재 빌렛(8inch)의 미세조직의 분포 및 결정립의 크기를 측정한 결과이다. 빌렛의 중심에서 바깥쪽으로 갈수록 미세조직의 크기가 조밀해지는 것을 볼 수 있다.

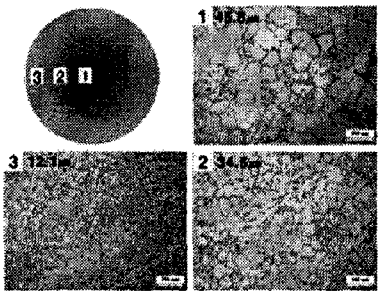


Fig. 2 Alloy 718 소재의 부위별 미세조직분포 및 결정립의 크기

Alloy 718 소재의 링 압연공정 설계 시 형상제어와 조직제어를 위하여 고온 압축시험을 통해 고온변형거동을 관찰하였다. 고온 압축시험은 850℃ ~1,100℃ 온도구간에서 변형속도 10^{-3}~$10s^{-1}$ 로 고온압축시험을 실시하였다. Fig. 3 은 Alloy 718 소재의 고온압축시험 결과를 나타낸 것으로 변형속도가 낮은 조건에서의 유동연화가 1000℃부터 현저하게 관찰되며, 이것은 동적 재결정에 기인한 것으로 판단된다.

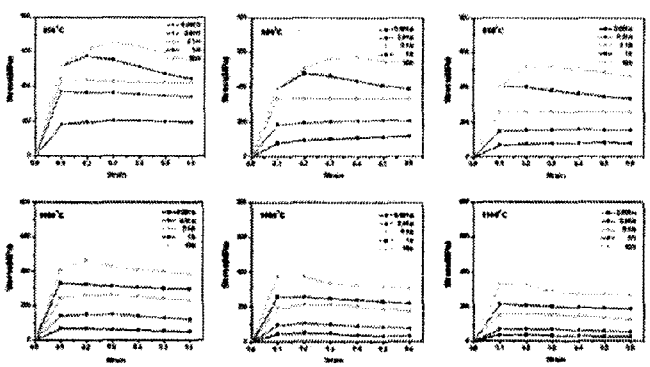


Fig. 3 Alloy 718 소재의 고온압축 시험 결과

3. 형상링 압연 공정 및 금형 설계

3.1 형상링 압연공정 설계

Alloy 718 소재의 형상 링 압연 공정 방안은 "원소재→블랭크→중간링→형상 링"의 단계를 거쳐 제작되는 것으로 설계하였으며, Fig. 4 와 같다. Fig. 5 는 Fig. 4 의 압연공정 방안을 바탕으로 한 형상 링 제작 기초 모델링과 유한요소해석 조건을 나타내고 있다.

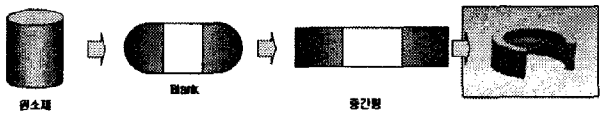
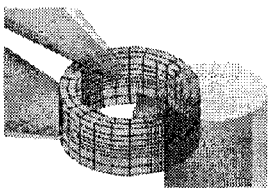


Fig. 4 Alloy 718 합금의 형상 링압연 공정



Simulation conditions	
Deformation + Thermal analysis	
소재	INCONEL 718
소재온도 범위	1050°C, 1100°C
마찰계수	0.5
Angular velocity of main roll	18rpm
Feed rate of mandrel	1mm/s

Fig. 5 Alloy 718 형상링의 기초 모델링 및 유한요소해석 조건

Fig. 5 의 조건에 따라 소재가열온도를 1100℃와 1050℃로 변화시켜 유한요소해석을 수행한 결과, 맨드렐에 작용되는 최대하중은 Fig. 6 의 맨드렐의 하중분포 그래프에서 보여지듯이 1050℃가 약 400 톤이며, 1100℃가 약 300 톤 정도로 하중적인 측면에서 1100℃가 유리한 성형조건임을 알 수 있었다. 변형량과 온도분포 또한 1050℃보다 1100℃가 더욱 균일한 분포를 나타내고 있다.

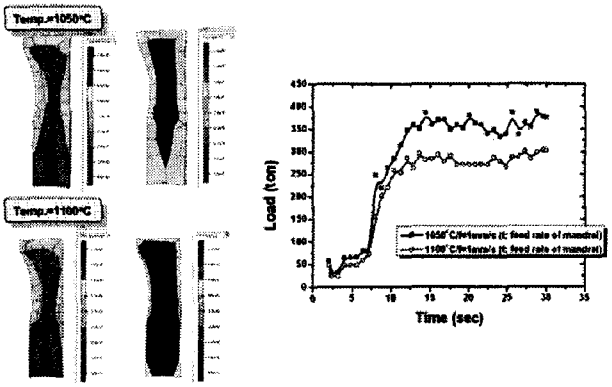


Fig. 6 Alloy 718 형상 링의 성형온도에 따른 하중분포 및 변형량, 온도분포 해석결과

3.2 형상링 금형설계

Fig. 5 의 기초 모델링을 바탕으로 유한요소해석한 결과 Fig. 7 에서와 같이 미충진 부위가 발생하여 여러 차례 금형 설계와 유한요소해석을 수행하여 금형 위쪽 형상이 주어진 부분에 R30 을 적용한 경우에 가장 적합한 맨드렐 금형설계임을 알 수 있었다.

고온에서는 일반 탄소강이나 스테인리스강에 비해 상당히 높은 유동응력을 가지는 Alloy 718 형상 링을 제작하기 위해서 금형소재는 고온에서 우수한 특성을 가지는 SKT4 재질로 제작하였다. Fig. 8 는 실제 제작한 형상 맨드렐 바를 나타낸다.

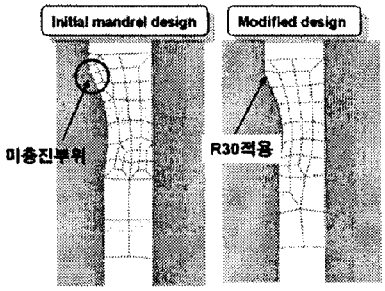


Fig. 7 맨드렐 바의 미충진 부위

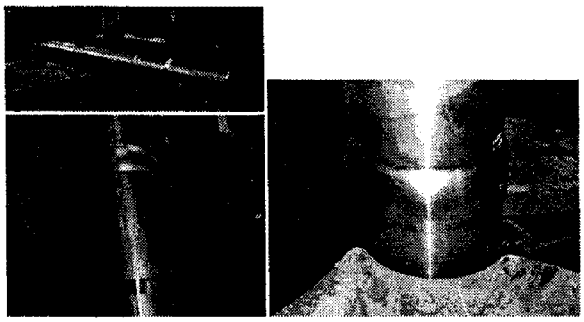


Fig. 8 Ring Mill 용 형상 맨드렐 바

4. 형상 링 시제품 제작

4.1 시제품 제작 공정

Alloy 718 소재의 개발 대상품에 가까운 Near Net Shape 의 형상 및 치수를 얻기 위해서 형상 링 압연공정을 Fig. 9 와 같이 설계하였다. Alloy 718 형상 링 압연공정 조건 설정은 다음과 같이 적용하였다.

-소재 가열 온도 : 1100℃
-금형 가열 온도 : 150℃이상
-회전롤의 회전 속도 : 18rpm
-맨드렐의 평균 압축 속도 : 1mm/s

Fig. 10 은 형상 링 압연 공정 방안 "원소재→블랭크→중간링→형상 링"의 단계를 바탕으로 Alloy 718 소재의 실재 시제품 제작 과정을 나타내고 있다.

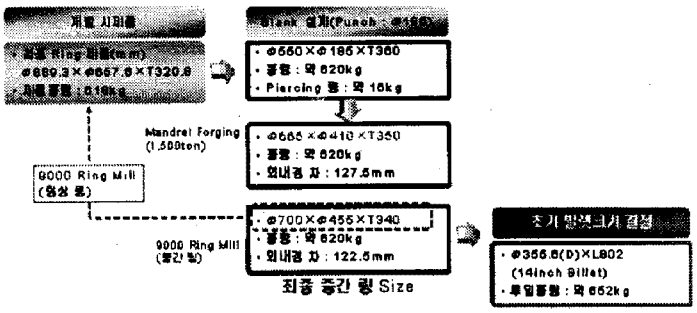


Fig. 9 Alloy 718 소재의 형상 링 압연공정 설계

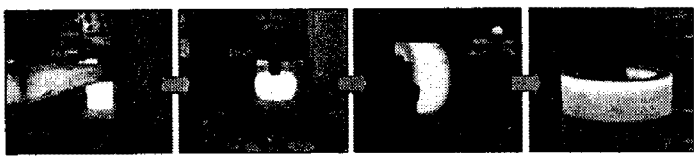


Fig. 10 Alloy 718 형상 링 제작 공정

4.2 시제품 제작 결과

Alloy 718 형상 링 시제품의 치수 측정 결과를 Table 1 에서 나타내었다. 치수오차가 OD:0.53%, ID:0.85%, T:0.68%로 목표치에 가깝게 제작되었음을 확인할 수 있었다.

Table 1 Alloy 718 형상 링 시제품의 치수

구 분		치 수(단위 : mm)
목표 치수		Φ889.3×Φ657.6×T320.8
링 치수	0°	Φ895×Φ652×T324
	120°	Φ894×Φ651×T322
	240°	Φ893×Φ653×T323
	평균치	Φ894×Φ652×T323
	치수오차	OD:0.53%, ID:0.85%, T:0.68%

Fig. 11 은 Alloy 718 최종 형상 링 시제품의 단면을 절단하여 형상을 측정한 결과로 Alloy 718 형

상 링 제작을 위해 투입중량을 Piercing 량과 Scale 량 및 가공 여유치를 감안하여 측정하였으나, Alloy 718 은 Scale 에 의한 소재 손실이 적었고 잔여소재와 가공여유치의 잔여소재가 내경과 높이 쪽으로 분산되어 내경 및 높이의 치수가 목표치와 다소 차이를 나타낸다. 그러나 Fig. 11 에 나타낸 것처럼 최종 제품의 형상 구현에는 이상이 없을 것으로 판단된다.

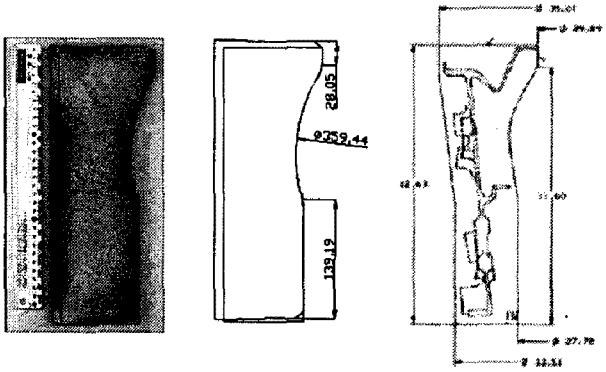


Fig. 11 Alloy 718 의 형상 링 시제품과 제작 목표 형상의 단면 비교 결과

5. 결론

본 논문에서는 초내열합금(Alloy 718)의 형상링 압연 제조 기술을 개발하기 위해 고온압축시험을 통해 Alloy 718 소재의 고온 특성을 평가하고, FE-Simulation 을 통한 형상 링 압연공정의 금형설계 완성하였다. FE-Simulation 을 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 소재의 형상 및 조직 제어를 위해 Blank 온도를 1100℃으로 가열하고, 평균 맨드렐(mandrel)의 feed rate 를 1mm/s 유지하여, "원소재→블랭크→중간링→형상 링" 으로 전개되는 단조공정으로 형상링 시제품을 제작하였다.

형상링 시제품의 제작결과, 소재가 내경과 높이 쪽으로 분산되어 내경 및 높이의 치수가 목표치와 다소 차이를 나타나고 있으나, 최종 제품의 형상 구현에는 이상이 없을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업기술개발 사업(지식경제부)의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사 드립니다. (과제번호:10029447)

참 고 문 헌

[1] M. J. Donachie, S. J. Donachie, Superalloys a technical guide 2nd edition. ASM international.

[2] W. D. Cao, R. Kemmedy, 2004 Superalloys

[3] 최홍석, 이정민, 고대철, 이선봉, 김병민, 2008, 가스터빈용 Alloy 718 커플링 볼프의 열간 헤딩 공정 설계 및 기계적 특성 평가, 한국소성가공학회지, 제 17권, 제 3호

[4] S. C. Son, 1997, High Speed Machining Characteristics of Nicjel-Based Superalloy Inconel 718, Graduate School paper, Pusan National University.