

직접시효 처리된 Alloy718 합금의 미세조직과 기계적 특성

엄철용* · 엄종택 · 박노광

Microstructures and Mechanical Properties of DA Alloy 718

C. Y. Eum*, J. T. Yeom* and N. K. Park*

Abstract

Alloy 718 is normally used for the stationary and rotating parts of gas turbines due to its excellent combination of high temperature mechanical properties, formability and weldability. The mechanical properties of the Alloy 718 depend very much on grain size, as well as the strengthening phases, γ' and γ'' . Direct aging is normally used to enhance tensile strengths at high temperatures. The grain structure of the superalloy components is mainly controlled during thermo-mechanical process by the dynamic, meta-dynamic recrystallization and grain growth. In this study, the influence of grain structure and heat treatment on tensile properties of direct-aged Alloy 718 was evaluated.

Key Words : Direct Aging, Alloy 718, Microstructure, Tensile Test

1. 서 론

Alloy 718 합금은 전 세계적으로 생산되고 있는 Ni 기 초내열 합금의 45% 이상을 차지하고 있는 합금으로서 매우 광범위하게 사용되고 있는 합금이다. 특히 Alloy 718 합금은 고온에서의 기계적 특성이 우수하고, 소성 가공이 가능하기 때문에 항공기 엔진용 디스크 부품소재로 대량 사용되고 있다.

항공기엔진을 위시한 가스터빈에 사용되는 구동부품은 고온 고응력 하에 노출되는 데, 특히 터빈 디스크는 엔진 부품 중 고응력 피로 조건에 노출되며, 파손시 인명 살상의 위험과 막대한 재산상 피해를 유발하기 때문에 높은 안정성이 요구되는 부품이다. 이러한 부품에 대한 안정성을 확보하고 수명 예측에 따른 보수 주기 결정을 위해서는, 구동조건에서 시간에 따른 재료 열화거동,

탄소성 및 creep 변형, 복잡한 응력 조건에서의 피로변형 등 고온에서의 다양한 기계적 특성에 대한 이해가 필요하다. 디스크 부품의 수명을 예측 평가하기 위해서는, 1축 응력에 대한 재료 특성에 대한 결과를 바탕으로 3 차원 응력 조건에서의 부품 변형 및 손상에 대한 예측이 필요하기 때문에 우선적으로 1축 인장응력 하에서의 재료 특성에 대한 실험을 실시하였다.

본 연구에서는 Alloy 718 합금을 Direct Aging 공정에 따라 disc로 제작하여 기존의 as-billet 또는 소성가공된 동종의 718 합금과의 기계적, 조직적특성을 비교하였다. 확인된 특성 결과로부터 항공기 엔진용 디스크 부품의 수명 예측에 필요한 1축 응력에 대한 material DB를 구축하고 이러한 DB를 바탕으로 3차원 응력 조건에서의 재료 손상에 대한 결과를 예측하는데 도움이 되고자 하였다.

* 한국기계연구원 재료기술연구소 공정연구부 소성응용그룹

2. 실험 방법

2.1 소재 입수

본 실험에 사용된 빌렛 제조는 VIM/VAR double melting 된 ingot 으로부터 cogging 공정을 통해 제조된 것으로, one heat 상태에서 채취함을 규정하고 있다. 본 실험에 사용된 Alloy 718 의 화학 조성은 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. The chemical composition of Alloy 718(DA)
(unit: wt.%)

Element	C	Cr	Co	Mo	Fe
Content	0.05	18.0	1.0	3.0	18.5
Element	Ti	Al	B	Nb	Ni
Content	1.0	0.55	0.006	5.25	55

2.2 시험편 제작

디스크 제작에 사용된 빌렛의 초기 형상은 지름 122mm×높이 180mm 의 원통형으로 준비되었다. 이때 빌렛은 carbon steel 소재를 이용하여 Fig. 1 에 나타낸 바와 같이 캡슐에 넣음으로써 가열 및 단조 중 빌렛의 산화를 최소화하도록 하였고, 팬케익 단조시 표면냉각으로 인하여 빌렛 외부표면에 균열이 형성될 수 있는 가능성을 최소화하였다.

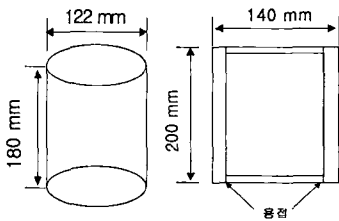


Fig. 1 (a) Alloy 718 billet and (b) encapsulation of billet with carbon steel.

Fig. 2 는 Alloy 718 디스크 제작을 위한 two step 단조공정을 나타낸 것으로, 1 차 단조온도는 1000℃ 정도이며, 2 차 단조온도는 980℃로 하였는데, 단조는 7000 톤 유압프레스를 이용하여 수행하였다. 단조온도의 설정은 결정립계에 존재하는 δ 상의 고용온도($\sim 1038^\circ\text{C}$)를 기준으로 이 보다 낮은 온도에서 수행하는 것이 일반적인데 그 보다 높은 온도에서는 δ 상이 고용되며 결정립계는 급격

하게 성장한다. Alloy 718 의 열간단조공정 중에서 특히 DA718 합금은 결정립이 상대적으로 미세한 조직을 구현하기 때문에 낮은 온도에서 단조를 수행하였다.

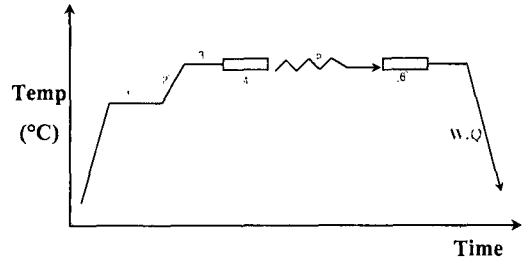


Fig. 2 Schematic diagram of two step forging cycle for Alloy 718 and its explanation.

이러한 열간 단조 공정을 거친 disc 에 대하여 Direct Aging heat-treatment 에 따라 열처리를 수행하였다. 즉, 720℃/8hr 로 유지한 후 1℃/min 로 서냉하고 621℃/8hr 로 2 차 시효처리한 후 공냉하였다.

열처리 전후에 대한 미세조직을 관찰하였고, 각각의 disc 에서 두 가지 방향으로 인장 시험편을 채취하여 상온과 고온(650℃)에서의 인장 특성을 확인하였다. 또한 열간 단조에 따른 소성변형의 정도를 파악하기 위하여 각 조건에 따른 시험편에서 micro-Vickers 경도계로 1kg 하중으로 경도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Fig.3 은 빌렛 상태의 Alloy 718 의 미세조직을 관찰한 결과를 나타낸 것으로 각 부위별 결정립 크기의 차이가 크지 않으며, 평균 결정립 크기는 30-40 μm 정도의 미세하고 균일한 결정립을 나타내고 있음을 관찰 할 수 있다.



Fig. 3 Microstructures of Alloy 718 as observed from center position.
(a) cross section and (b) longitudinal section)

이러한 균일한 결정립을 가진 빌렛을 Fig. 2 에서 보여준 것과 같이 열간 단조를 실시하였으며, 열간 단조 후의 as-forged 상태의 미세 조직을 disc 중심을 축으로 한쪽편에서 3 부분으로 구분하였고, 또한 disc 의 윗부분에서 아래부분으로의 3 부분으로 구분하여 미세조직을 관찰하였다.

열간 단조 후의 미세 조직은 As-billet 상태보다 결정립이 보다 미세함을 확인하였으며, disc 의 중심부 보다는 상하 좌우의 표면쪽에서의 결정립이 보다 미세함을 확인하였다. 이러한 결정립 미세화로 인하여 경도 측정시 내부 중심부 쪽보다는 외부 표면쪽의 값이 더 높을 것으로 예상되며, 열간 단조시의 외부 응력에 의한 표면 쪽에 응력장이 형성되어 재결정의 진행을 방해한 것으로 판단된다. Direct Aging 을 실시한 이후에서는 결정립의 크기가 as-forged 상태보다는 크게 나타났으며, Aging 처리 후의 미세 조직은 Fig. 4 에 나타내었다.

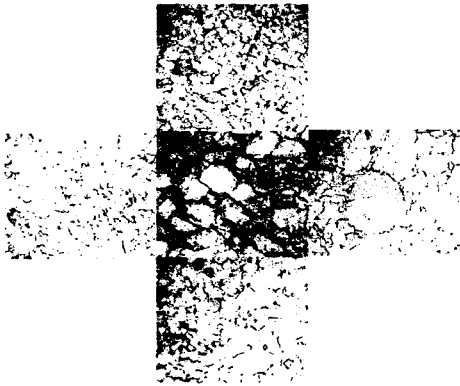


Fig.4 Microstructure of Alloy 718 at Direct Aged.

또한 as-billet 상태나 as-forged, as-aged 상태 모두에서는 billet 상태에서 생성된 Ti, Nb 계 carbide 가 계속적으로 존재함을 확인하였으며, 입계에서는 공정 NbC 가 석출되어 있음을 확인하였다

3.2 경도 측정

인장 시험을 위해 시편을 절취하기 전에 우선적으로 micro-Vickers hardness test 를 실시하였다.

3.1 에서 언급하였듯이 as-forged 상태나 as-aged 상태 모두에서 disc 표면쪽의 결정립 크기가 미세하여 경도 측정 결과 표면쪽에서 중심부보다는 경도 값이 상승함을 확인하였다. Fig. 5 에서는 Aging 전후의 disc 에서 측정한 경도값을 나타내어 보여 주었다.

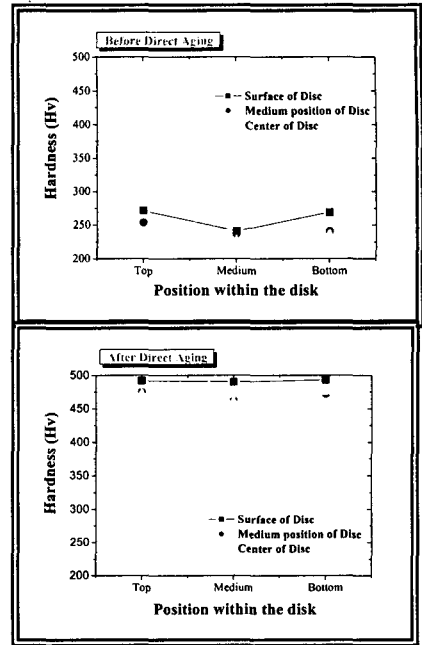


Fig. 5 Variation of hardness with the position. (a) before aging, (b) after direct aging

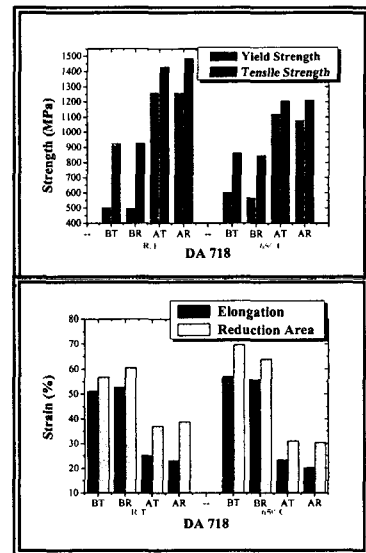


Fig.6 Variation of tensile properties with the position (a) yield & tensile strength, (b) elongation & reduction area

3.3 인장 시험

인장 시험을 위해 disc 에서 시험편은 경도 결과를 바탕으로 표면쪽에서 각각 tangential, radial 방향의 2 종류로 구분하여 절취하였다. 상온과 고온 650°C 에서 실시하였으며 그 결과를 Aging 전후로 구분하여 Fig. 6 에 나타내었다. DA 처리를 한 후의 경우 항복강도와 인장강도 모두 상온과 고온에서 증가하였으나 연신율과 단면적 감소율은 비례적으로 감소하였다. DA 처리 전의 상태에서는 고온에서의 강도 값은 비슷하였으나 DA 처리 후의 강도 값은 반대의 경우를 확인하였고, 연신율은 열처리 전후가 거의 유사하였지만, 단면적 감소율은 열처리를 하였을 경우 값이 감소함을 확인하였다.

4. 결론

Alloy 718 을 열간 단조 후 DA 처리를 한 상태에 대하여 미세조직의 변화와 인장 특성에 대한 상호 관계를 확인하기 위한 실험 결과는 다음과 같다.

(1) 열간단조 후와 DA 처리를 한 후 모두에서 결정립의 크기는 Disc 중심부보다는 외부 표면 쪽에서 보다 미세하였음을 확인하였다..

(2) 미세 경도 값을 확인하여 본 결과 (1)에서의 미세 조직 변화와 동일하게 표면쪽에서 중심부보다 높은 경도값을 나타내었으며 Aging 후의 상태가 전보다 경도값이 증가하였음을 확인하였다.

(3) 인장 강도 값 역시 Aging 후가 강도값이 증가하였고 연신율이나 단면적 감소율은 감소함을 확인하였다. 또한 각 방향에 따른 특성은 거의 유사하였으며, aging 처리 후의 경우 상온에서보다 고온에서 강도 값이 약간 감소하였으며, 단면적 감소율 역시 감소함을 확인하였다.

후 기

2004 년 항공우주기술품개발 사업의 일환으로 시행되었으며 이에 감사함을 전합니다.

참 고 문 헌

- (1) J. L. Bassani, 1977, "Yield characterization of metals with transversely isotropic plastic properties", Int. J. Mech. Sci., Vol. 19, pp. 651~156.
- (2) Y. S. Na, J. T. Yeom, N. K. Park and J. Y. Lee "Prediction of microstructure Evolution during High Temperature blade forging of a Ni-Fe based superalloy, alloy 718". Metals and Materials Ins., Vol 9, No 1 (2003), pp.15~19.
- (3) H. Andersson, "In-situ SEM study of fatigue crack growth behaviour in IN718", International Journal of Fatigue, 26, (2004), pp.211-219.