

# 원심주조된 내열강의 미세조직 및 기계적성질에 미치는 단조 조건의 영향

## Effect of Forging Condition on the Microstructure and Mechanical Properties in Centrifugal Casted Heat Resistant Steel

강창룡 · 이상명 · 조덕호 · 박영태 · 이도훈 · 김영철

C. Y. Kang, S. M. Lee, D. H. Jo, Y. T. Park, D. H. Lee and Y. C. Kim

(접수일 : 2008년 11월 6일, 수정일 : 2008년 12월 22일, 채택확정 : 2009년 6월 16일)

**Key Words** : Forging Ratio(단조비), Forging Start Temperature(단조 시작온도), Volume Fraction of Ferrite(페라이트 체적 분율), Centrifugal Casting(원심주조), Heat Resistant Steel(내열강)

**Abstract** : The effect of forging start temperature, forging ratio on the microstructure and mechanical properties of B7B4 steel ware investigated. Microstructure of centrifugal casted B7B4 steel consisted of martensite and ferrite phase. The volume fraction of ferrite increased with increase of forging start temperature and decreased with increase of forging ratio. Tensile strength and hardness decreased with higher of forging start temperature, while impact value and elongation increased with higher of forging start temperature. With increase of forging ratio, tensile strength rapidly increased up to the forging ratio of 30%, and then slowly increased, but elongation was decreased. Hardness and impact value rapidly increased with increase of forging ratio.

### 1. 서 론

최근 화석연료를 사용하는 발전 플랜트 산업 분야에서는 보일러의 사용조건을 초고온, 고압화 및 대용량화함으로써 환경 및 에너지 문제를 해결하고자 다양한 노력을 경주하고 있다<sup>1-6)</sup>. 또한 이러한 문제를 해결하는데 있어서는 고온특성이 우수한 재료 개발이 대단히 중요하다.

증기발전 터빈에서 유입된 증기를 일정한 방향으로 진행되도록 유도하여 증기가 갖는 열에너지를 운동에너지로 변환시켜 주는 역할을 하는 다이어프램은 Out Ring 과 Inner Web등과 같은 주요 부품으로 이루어져 있다. 이러한 Out Ring 과 Inner Web 등은 B50A359A 및 B7B4 내열강을 용해 주조 후 단조 한 다음 가공 및 열처리하여 제작하고 있다. 그러나 최근에는 생산원가 감소, 기계적성질 향상 등을 위해 제작하고자 많은 노력을 경주하고 있다. 때문에 이러한 공정에서 우수한 고온특성을 얻

기 위해서는 최적의 단조 조건을 확보하는 것이 중요하다. 뿐만 아니라 B7B4 내열강은 원심주조, 응고 및 단조 과정 등에서 페라이트상이 석출하여 페라이트와 마르텐사이트상의 2상 조직이 될 수 있다. 이와 같이 2상 조직이 되면 고온에서 사용 중 일어나는 조직변화가 서로 달라지게 되어<sup>2)</sup> 문제가 될 수 있기 때문에 단조조건변화에 따른 페라이트상의 체적분율변화를 조사하는것 또한 중요하다.

따라서 본 연구에서는 Out Ring 과 Inner Web 등에 많이 사용되는 B7B4 내열강의 단조조건 변화에 따른 미세조직 및 기계적 성질 변화를 조사함과 동시에 페라이트의 체적분율 변화를 조사하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 시료

시료는 고주파 용해로에서 용해작업 한 다음 원심주조하여 필요한 크기를 갖는 링 모양의 잉곳을 만든 후 단조작업 하여 제작하였다. 이때 사용된 시료의 화학 조성을 Table 1에 나타내었다.

강창룡(책임저자) : 부경대학교 금속공학과  
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6349  
이상명, 조덕호, 이도훈, 김영철 : 부경대학교대학원

Table 1 Chemical composition of heat resistant steel(wt.%)

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
B7B4	0.106	0.540	0.573	0.019	0.003	11.982	Bal.

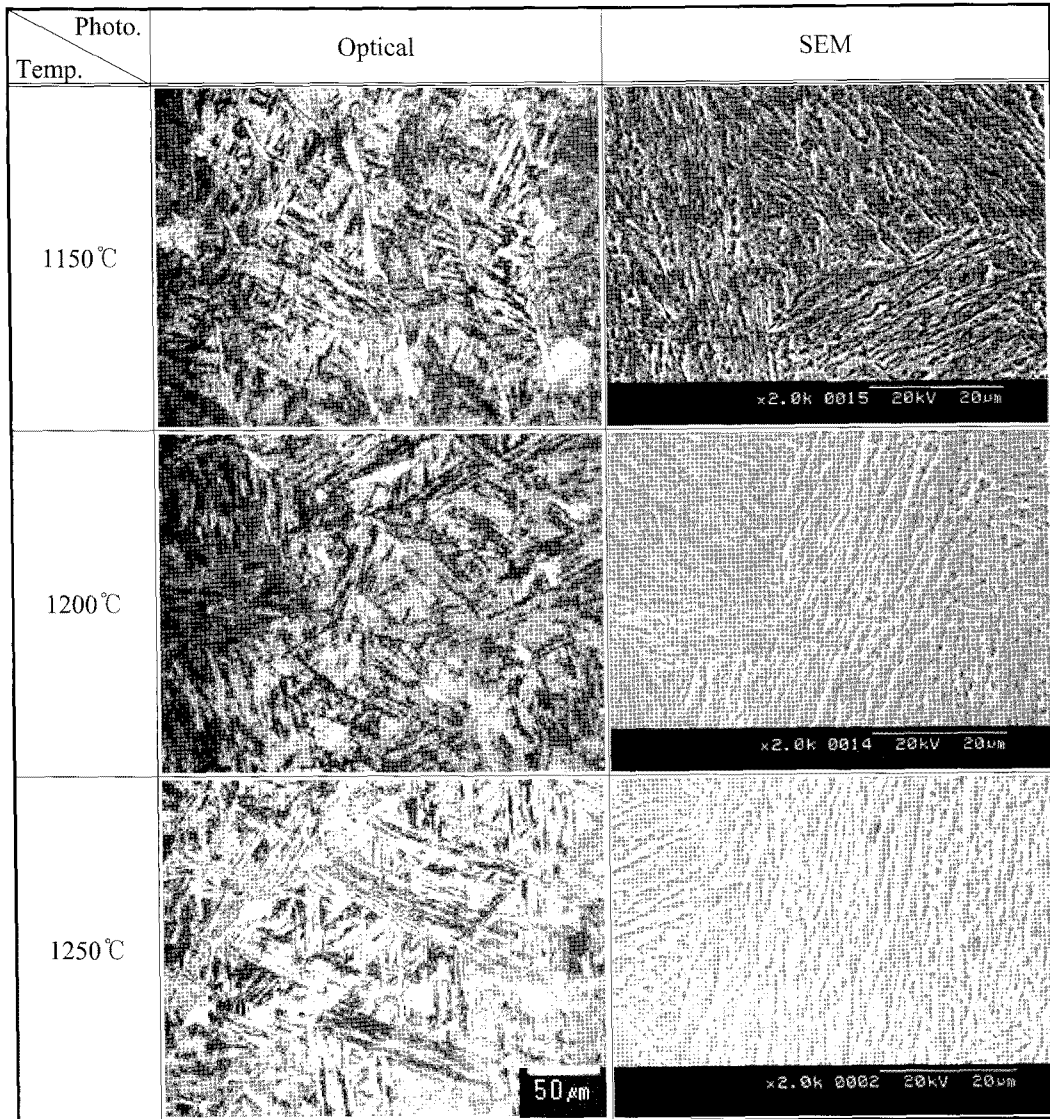


Photo. 1 Optical and SEM micrographs showing the effect of forging start temperature

## 2.2 단조작업

단조 시작 온도의 영향을 조사하기 위한 단조작업은 원심주조 후 1150°C, 1200°C 및 1250°C에서 단조를 시작하여 단조비가 30%가 되게 단조 후 950°C에서 종료 한 다음 공랭하였다. 또한 단조비의 영향을 조사하기 위한 단조는 1200°C에서 단조를 시작하여 단조 비가 10%에서 50%가 되게 단조 한 다음 950°C에서 종료 후 공랭하였다. 이때 단조작업의 온도 측정은 비접촉식 적외선 온도계(Raytek사, R3i2ML3u)를 사용하여 측정하였다.

## 2.3 미세조직 관찰

원심 주조 한 시료와 원심주조 후 단조작업 한 시료의 미세조직은 통상의 연마과정을 거친 후 5% 질산용액으로 부식시켜 광학현미경과 주사전자현미경으로 조사하였다. 또한 단조 조건 변화에 따른 페라이트상의 체적분율은 화상분석 시험기를 사용하여 10회 측정하여 평균해서 구하였다.

## 2.4 기계적 성질

단조조건을 달리하여 단조작업 한 시료의 경도

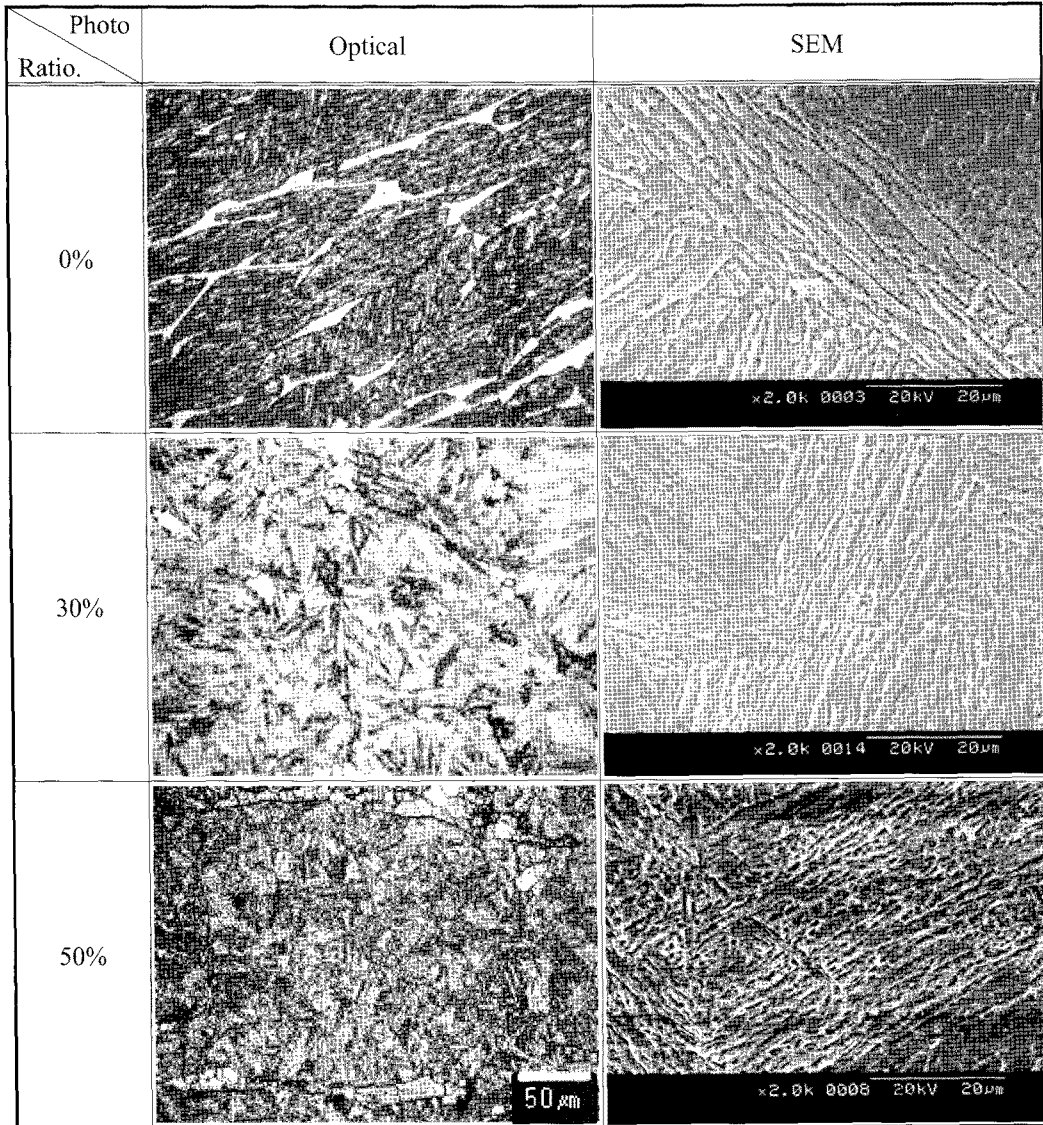


Photo. 2 Optical and SEM micrographs showing the effect of forging ratio

측정을 마이크로비커스 경도계를 사용하여 7회 이상 측정하여 최대 값과 최하 값을 제외한 다음 평균하여 구하였다. 또한 인장시험은 단조작업 한 시료에서 ASTM E8의 규정을 따라 봉재 시험편으로 제작 한 다음 상온에서 Cross head speed를 2mm/min.로 정하여 시험 하였다. 한편 충격시험은 2mmV 노치를 갖는 샤르피 충격 시험편으로 제작하여 상온(24℃)에서 시험하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직

Photo. 1은 단조 시작온도가 미세조직에 미치는 영향을 조사하기 위하여 원심주조 한 링 형상의 잉곳을 1150℃, 1200℃ 및 1250℃의 온도에서 단조 시

작하여 단조비가 30%되게 단조 후 950℃에서 종료 하였을 때 미세조직을 광학현미경과 주사전자 현미경으로 나타낸 것이다. 세 시료 모두 마르텐사이트 조직에 소량의 페라이트가 이전 오스테나이트 입계를 따라 생성되어 존재하고 있는 2상 조직으로 되어 있음을 알 수 있다. 또한 단조 시작온도가 낮아질수록 마르텐사이트가 미세화 되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 단조작업 온도가 낮아질수록 단조작업 온도범위가 좁아지고, 작업온도 범위가 좁은 영역에서 단조비가 30%가 되게 단조 작업을 하기 때문에 단조작업에 기인되는 냉각효과가 크기 때문이라 생각된다. Photo. 2는 원심주조 한 시료를 1200℃에서 단조 시작하여 단조비가 0%, 30% 및 50%가 되게 단조 한 다음 950℃에서 종료 하였을 때의 미세조직을 광학 현미경과 주사전자 현미경으

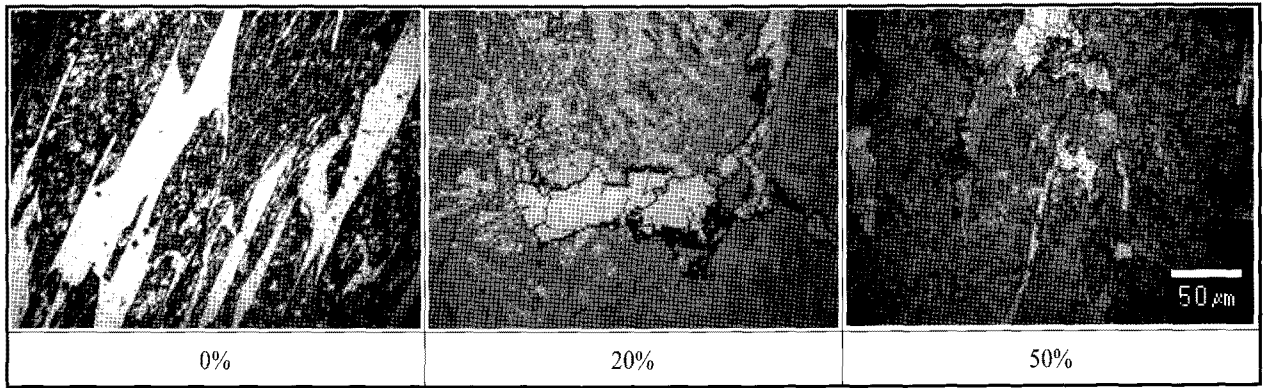


Photo. 3 Optical micrographs showing the effect of forging ratio on the refinement of ferrite

로 나타낸 것이다. 단조비가 높아질수록 마르텐사이트가 미세해지고 있음을 알 수 있다. 이 같은 이유는 단조비가 높아질수록 단조작업에 의한 전위, 공공 등과 같은 많은 결함이 도입되기 때문에 핵생성 장소가 많아지게 되어 마르텐사이트가 많이 생성되기 때문 일 뿐만 아니라, 단조작업에 기인되는 냉각 효과도 커지기 때문이라 생각 된다<sup>4)</sup>.

Photo. 3은 단조비 변화에 따른 페라이트조직의 변화를 광학현미경으로 조사 하여 나타낸 것이다. 단조비가 증가함에 따라 페라이트 조직이 미세화 되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 단조비가 증가함에 따라 유용한 핵생성 장소가 되는 전위 등과 같은 결함이 많이 생성되기 때문이라 생각된다.

### 3.2 기계적 성질에 미치는 단조 시작온도의 영향

Fig. 1은 단조 시작온도가 페라이트 조직의 체적분율에 미치는 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조 시작온도가 높아질수록 페라이트의 체적분율이 많아지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 단조 시작온도가 높아질수록 작업온도 구간이 넓어지기 때문에 작업온도가 좁은 경우 보다 단조작업에 기인되는 냉각효과가 떨어지게 되어 페라이트가 석출 할 수 있는 시간이 많아지기 때문이라 생각된다.

Fig. 2는 인장성질에 미치는 단조 시작온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조 시작온도가 증가 할수록 인장강도는 서서히 감소하고 연신율은 빠르게 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 경도 값과 충격값에 미치는 단조 시작온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조 시작온도가 증가 할수록 경도는 서서히 감소하고 있는데 반하여 충격값은 빠르게 증가하고 있음을 알 수 있

다. 이와같이 단조 시작온도가 증가 할수록 인장강도와 경도 값이 감소하고 연신율과 충격값이 증가 하는 이유는 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 단조 작업 온도가 증가 할수록 연한상인 페라이트의 체적분율이 증가하고, 또한 단조 작업 후 냉각 시 생성되는 마르텐사이트가 커지기 때문이라 생각된다.

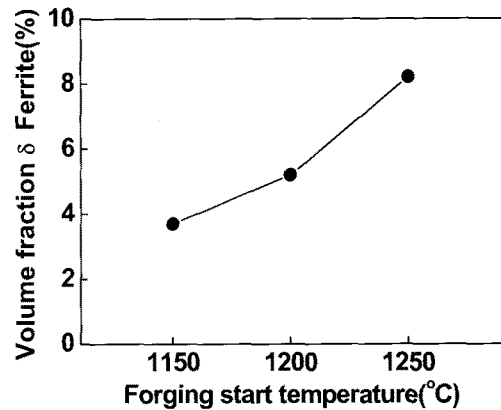


Fig. 1 Effect of forging start temperature on the volume fraction of  $\delta$  ferrite

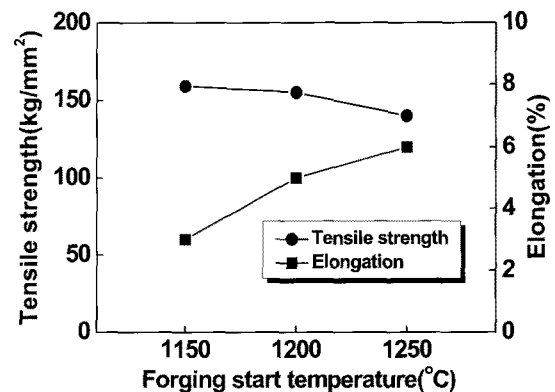


Fig. 2 Effect of forging start temperature on the tensile strength and elongation

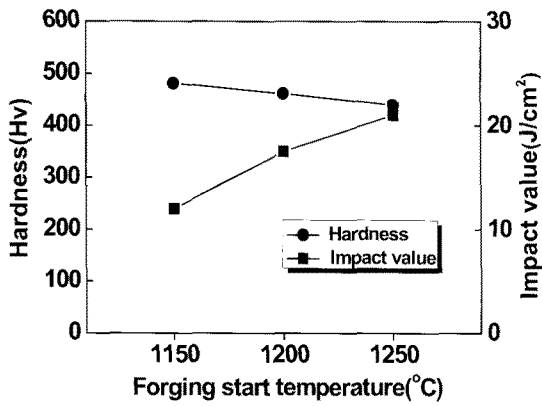


Fig. 3 Effect of forging start temperature on the hardness and impact value

### 3.3 기계적 성질에 미치는 단조비의 영향

Fig. 4는 1200°C에서 단조를 시작하여 단조 비가 10%에서 50%가 되게 단조 작업한 다음 950°C에서 종료 후 공랭 하였을 때 페라이트의 체적분율을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 30%까지는 단조비가 증가 할수록 페라이트의 체적분율이 빠르게 감소하다 단조비가 30%이상이 되면 서서히 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 단조비가 증가 할수록 페라이트 조직의 체적분율이 감소하는 이유는 단조비가 증가 할수록 가공 량이 많아지는데 기인되는 냉각효과가 커지기 때문에 냉각하는 동안 페라이트가 석출되기 어렵기 때문이라 생각된다.

Fig. 5는 인장성질에 미치는 단조비의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 30%까지는 단조비가 증가 할수록 인장강도는 급격히 증가하고 있는데 반하여 연신율은 급격히 감소하고 있으며, 단조비가 30%를 넘어서게 되면 큰 차이 없이 인장강도는 서서히 증가하고, 연신율은 서서히 감소하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 경도 값과 충격값에 미치는 단조비의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 증가 할수록 경도와 충격값이 빠르게 증가하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 단조비가 증가 할수록 인장강도와 경도 값이 증가하고 연신율이 감소하는 이유는 Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 연한상인 페라이트의 체적분율이 적어지고 있을 뿐만 아니라, 강도 및 경도에 영향을 미치는 결함의 생성이 많고 또한 마르텐사이트가 미세화 되기 때문이라 생각된다. 또한 단조비가 30%를 넘어서면 서서히 강도가 증가하고 연신율이 감소하는 이유는 가공 량이 30% 이상이 되면 연한상인 페라이트의 량이 서서히 적어지고 있을 뿐만 아니라, 30%정도 가공을 하게 되면 생성

되는 결함 등이 거의 포화상태가 되기 때문에 가공 량이 30% 이상 되어도 결함 생성 등이 더 이상 많아지지 않아 인장성질에 미치는 영향도 적어진다고 생각된다. 한편 Fig. 4에서 단조비가 증가 할수록 연한상인 페라이트의 체적분율이 감소하고 있음에도 불구하고 충격값이 증가하는 이유는 단조비에 따른 연한상인 페라이트의 체적분율 차가 3%밖에

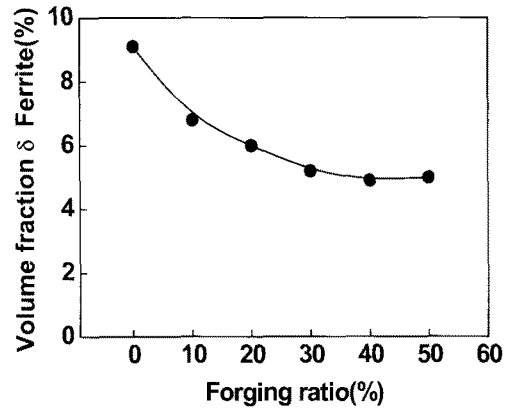


Fig. 4 Effect of forging ratio on the volume fraction of δ ferrite

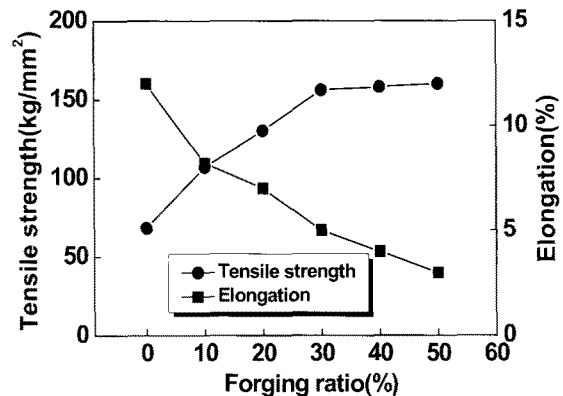


Fig. 5 Effect of forging ratio on the tensile strength and elongation

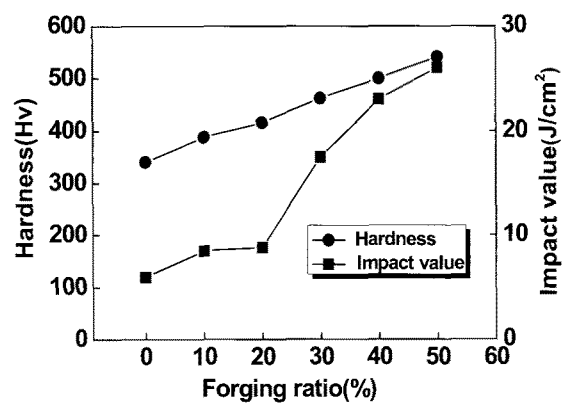


Fig. 6 Effect of forging ratio on the hardness and impact value

되지 않아 페라이트 조직의 체적분율이 충격값에 미치는 영향은 극히 적은데 반하여, 단조비 증가에 따른 페라이트 조직의 미세화 및 마르텐사이트의 미세화가 일어나는데 더 크게 영향을 받기 때문이라 생각된다.

6. S. Yoshiatsu et al., 1995, "Development of high strength 12%Cr steel pipe and tube for boilers", sumitomo kinjoku, Vol. 47, No. 4, p. 29.

#### 4. 결 론

B7B4 내열강의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 단조 시작온도 및 단조비의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 원심주조 후 단조작업 한 시료는 마르텐사이트 조직에 소량의 페라이트 조직이 존재하는 2상 조직으로 되어 있다.

2) 페라이트의 체적분율은 단조시작 온도가 증가할수록 증가 하였고, 단조비가 증가 할수록 감소하였다.

3) 단조 시작 온도가 증가 할수록 강도와 경도는 감소하고, 연신율과 충격값은 증가 하였다.

4) 단조비가 30% 까지는 단조비가 증가 할수록 빠르게 인장강도는 증가하고 연신율은 감소하다가 단조 비가 그 이상이 되면 인장강도는 서서히 증가하고 연신율은 서서히 감소하였다. 반하여 정도 및 충격값은 빠르게 증가하였다.

#### 참 고 문 헌

1. 吉田豊明, 1995, "가스타-빈機關의超高温材料技術について", 耐熱金屬材料, 第123會 研究報告, Vol. 36, No. 3, p. 275.
2. 강창룡 외 4인, 2000, "발전플랜트용 10Cr 페라이트 내열강의 라베스상 석출거동 및 기계적 성질", 한국동력기계공학회지, 제6권, 제1호, pp. 1~7.
3. N. F. Vildamova et al., 1994, "Creep Behavior and srtucture of high chromium ferrite-Martensite steels", The physics of metal's and metallography, Vol. 77, No. 6 pp. 670~675.
4. 김재성, 2008, "원심주조된 내열강의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 단조조직의 영향", 부경대학교 공학석사 학위논문.
5. R. C. Thomson and H. K. D. H Bhadeshia, 1992, "Carbide precipitartion in 12Cr 1Mo V power plant steel ", metallurgical trans- action A, Vol. 23A, p. 1171.