

9Cr-1Mo 내열강의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 원심주조 후 단조 조건의 영향

Effect of Forging Condition on the Microstructure and Mechanical Properties of Centrifugal Casted 9Cr-1Mo Heat-Resisting Steel

이상명 · 김윤규 · 최한글 · 이정규 · 조영관 · 박영태 · 강창룡

S. M. Lee, Y. K. Kim, H. G. Choi, J. K. Lee, Y. K. Cho, Y. T. Park and C. Y. Kang

(접수일 : 2009년 11월 2일, 수정일 : 2010년 3월 15일, 채택확정 : 2010년 4월 8일)

Key Words : Forging Ratio(단조비), Forging Starting Temperature(단조 시작 온도), Forging Finishing Temperature(단조 마무리 온도), Centrifugal Casting(원심주조), Heat-resisting Steel(내열강)

Abstract : The effect of forging condition on the microstructure and mechanical properties of 9Cr-1Mo heat-resisting steel was investigated. Microstructure of centrifugal casted 9Cr-1Mo heat resisting steel and forged heat resisting steel are consisted of martensite. With the increase of forging ratio, tensile strength and hardness increased, while elongation and impact value decreased. By increasing of forging starting temperature and finishing temperature, tensile strength and hardness increased, while elongation and impact value decreased. We obtained the optimum forging conditions as follow, forging ratio is 30%, forging starting temperature is 1200°C and forging finishing temperature is 950°C.

1. 서 론

화석연료를 사용하는 발전 플랜트 산업 분야에서는 보일러의 사용조건을 초고온, 고압화, 대용량화 및 장수명화를 통하여 발전효율을 향상함으로써 최근 심각한 문제로 대두 되고 있는 환경 및 에너지 문제를 해결하기 위해 부단한 노력을 경주하고 있다. 또한 이러한 목적을 달성하기 위하여 고온특성이 우수한 합금을 개발하거나 또는 기존재료의 제조공정을 변화하는 등과 같은 방법을 시도하고 있다¹⁻⁷⁾.

증기발전 터빈에서 유입된 증기가 일정한 방향으로 진행되도록 유도하여 증기가 갖는 열에너지를 운동에너지로 변환시켜 주는 다이어프램의 주요 부품인 Out Ring 과 Inner Web 등은 9-12%Cr을 갖는 내열강을 용해, 주조 후 단조 한 다음 가공 및

열처리하여 제작하고 있다. 그러나 이러한 제조과정은 공정이 많아 제조원가가 높고, 긴급상황 시 대처 능력이 떨어질 뿐만 아니라 회수율이 낮고, 특히 제조 과정에서 가열과 냉각이 반복되는데 따른 소재의 물성이 열화 되는 등의 문제가 발생되고 있다. 때문에 최근 이러한 문제들을 해결하기 위해 원심주조한 다음 단조작업 후 가공과 열처리하는 방법을 도입하고자 많은 노력이 경주되고 있다⁷⁾. 그러나 이런 공정에서 우수한 고온특성을 얻기 위해서는 최적의 원심주조 기술 확보도 중요하지만, 원심주조 후 적용하는 최적의 단조조건을 확보하는 것이 대단히 중요하다.

따라서 본 연구에서는 보일러의 부품 등에 많이 사용되는 9Cr-1Mo 내열강의 원심주조 후 적용하는 단조 공정에서 최적의 단조조건을 확보하기 위하여 시료를 용해하여 원심주조 한 다음 단조 비, 단조 시작온도, 단조 마무리온도 등을 변화시켜 단조작업하여 단조조건 변화에 따른 미세조직과 기계적 성질 변화를 조사하였다.

강창룡(교신저자) : 부경대학교 금속공학과
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr
Tel : 051-629-6346
이상명, 김윤규, 최한글, 이정규, 조영관, 박영태
: 부경대학교 대학원

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 전해철, Fe-Cr 등과 같은 합금철을 사용하여 고주파 용해로에서 용해작업 한 다음 원심주조 하여 링 형상의 잉곳을 만든 후 단조작업을 실시하여 시료로 사용하였다. 이때 사용된 시료의 최종 화학조성을 Table 1에 나타내었고, 9%Cr에 1%의 Mo이 첨가되어 있는 내열강임을 알 수 있다.

2.2 단조작업

단조 시작온도의 영향을 조사하기 위한 단조 작업은 시료를 1150℃, 1200℃ 및 1250℃에서 단조작업을 시작하여 단조비가 30%가 되게 단조작업 후 950℃에서 종료 한 다음 강제 공랭하였다. 또한 단조 마무리 온도의 영향을 조사하기 위한 단조 작업은 1200℃에서 단조작업을 시작하여 단조비가 30%되게 단조 작업 한 다음 각각 900℃, 950℃ 및 1000℃에서 단조작업을 종료하였다. 한편, 단조비의 영향을 조사하기 위한 단조작업은 1200℃에서 단조비가 10%, 20%, 30% 및 50%가 되게 단조작업 한 다음 모두 950℃에서 종료한 후 강제공랭하였다. 이때 모든 단조작업의 온도 측정은 비접촉식 적외선 온도계(Raytek사, R3i2ML3u)를 사용하여 측정하였다.

2.3 미세조직 관찰

원심 주조 한 시료와 원심주조 후 단조조건을 변화시켜 단조작업 한 시료의 미세조직은 통상의 연마과정을 거친 후 5% 질산용액으로 부식시켜 광학현미경과 주사전자현미경을 사용하여 조사하였다.

2.4 기계적 성질

단조작업 한 시료의 경도 측정은 브리넬 경도기를 사용하여 7회 이상 측정하여 최대 및 최소 값을 제외한 다음 평균하여 구하였다. 인장시험은 단조작업 한 시료에서 표점거리가 50mm인 JIS B 7702의 4호 시험편의 규격으로 제작한 다음 상온에서 cross head speed를 2mm/min.로 정하여 시험 하였다. 한편 충격시험 역시 단조 작업한 시료에 대하여 2mmV 노치를 갖는 샤르피 충격 시험편으로 제작하여 상온에서 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 단조비의 영향

Photo. 1은 단조비 변화에 따른 미세조직 변화를 조사하기 위하여 원심주조한 링 형상의 잉곳을 1200℃에서 단조비가 각각 10%, 20%, 30% 및 50%가 되게 단조작업 한 다음 950℃에서 완료 한 다음 강제공랭한 시료의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 두 시료가 단조비에 관계없이 모두 동일한 마르텐사이트 조직임을 알 수 있으며, 광학현미경 조직으로는 단조비에 따른 미세조직의 차이를 알 수가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 Photo. 1 시료의 미세조직을 주사전자현미경으로 조사하여 Photo. 2에 나타내었다. 주사전자 현미경 사진에서도 단조비에 관계없이 동일하게 마르텐사이트 라스를 따라 미세한 탄화물들이 석출되어 있는 조직으로 되어있고, 단조비가 높아질수록 마르텐사이트가 방향성 없이 무질서하게 배열되어 있을 뿐만 아니라, 마르텐사이트 라스의 크기가 작아지고 있는 경

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

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N	Fe
0.10	0.33	0.37	0.011	0.002	0.35	8.6	0.95	0.20	0.07	0.05	Bal.

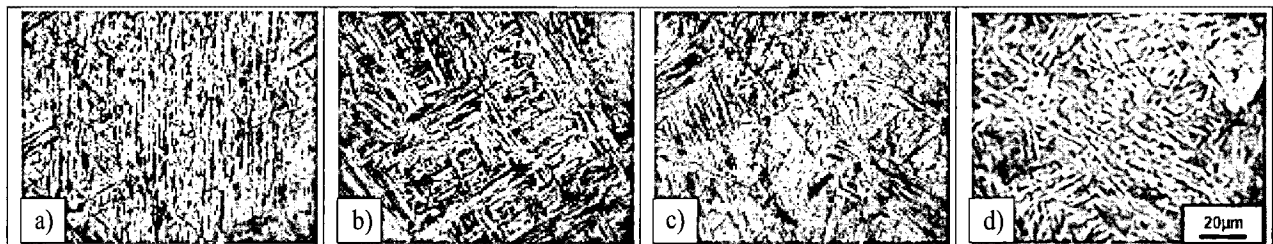


Photo 1 OM microstructures showing the effect of forging rate in 9Cr-1Mo steel

Forging rate : a) 10% b) 20% c) 30% d) 50%

향이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 단조비가 증가할수록 마르텐사이트 라스의 크기가 작아지고, 무질서하게 배열되는 이유는 단조비가 증가할수록 단조작업에 기인되는 냉각효과가 커지기 때문이라 판단된다⁷⁾.

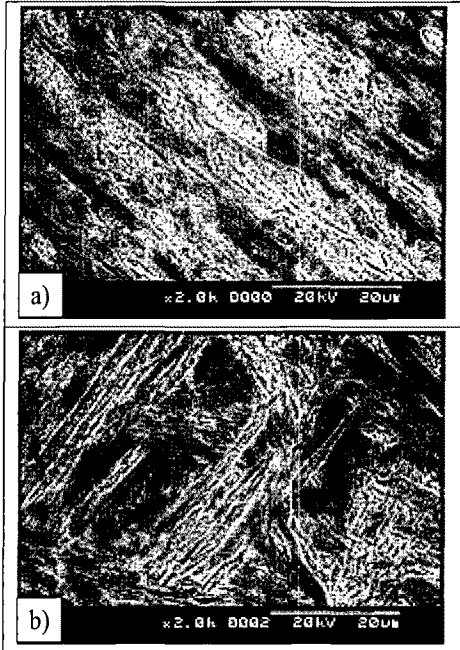


Photo. 2 SEM microstructures showing the effect of forging rate in 9Cr-1Mo steel
Forging rate : a) 10% b) 50%

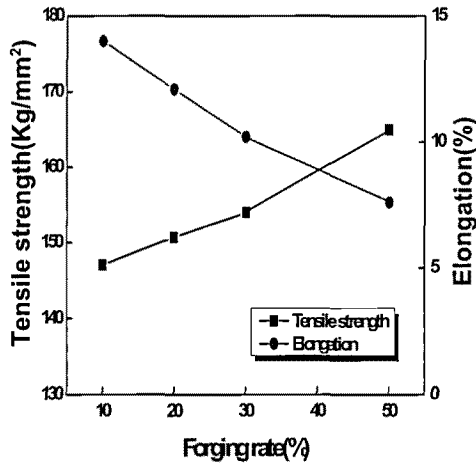


Fig. 1 Effect of forging rate on tensile strength and elongation in 9Cr-1Mo steel

Fig. 1은 인장성질에 미치는 단조비의 영향을 알아보기 위하여 두시료를 원심주조 후 1200℃에서 단조비를 달리하여 단조작업 한 다음 950℃에서 종료 후 인장시험 하였을 때 얻은 인장강도와 연신율을 나타낸 것이다. 단조비가 높아질수록 인장강도는

증가하고 있는데 반하여 연신율은 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 경도와 충격인성에 미치는 단조비의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 높아질수록 경도는 서서히 증가하고 있는데 반하여 충격인성은 감소하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 단조비가 높아질수록 인장강도와 경도가 증가하고 연신율과 충격인성이 감소하는 이유는 단조비가 높아질수록 단조작업량이 많아지는데 기인되어 냉각속도가 커지기 때문에 마르텐사이트 조직이 미세화 될 뿐만 아니라 마르텐사이트 내 고용되는 탄소 등이 많아지고, 또한 전위 등과 같은 결함이 결정 내에 많이 도입되는데 기인되어 마르텐사이트의 경도가 높아지기 때문이라 생각된다⁷⁾.

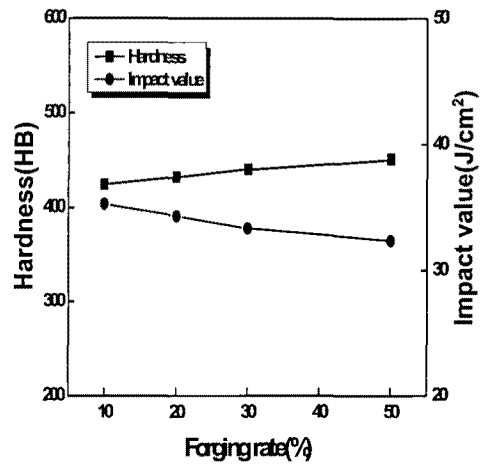


Fig. 2 Effect of forging rate on the hardness and impact value in 9Cr-1Mo steel

3.2 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 단조 시작 온도의 영향

Photo. 3은 단조 시작온도에 따른 미세조직 변화를 조사하기 위하여 시료를 용해한 다음 원심주조 후 여러 온도에서 단조비가 30%가 되게 단조작업한 다음 950℃에서 종료 하였을 때의 미세조직을 광학 현미경으로 나타낸 것이다. 단조 시작 온도에 관계없이 세 시료 모두 동일한 마르텐사이트 조직임을 알 수 있고, 단조 시작온도가 높아질수록 마르텐사이트의 크기가 미세화되는 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Photo. 4는 Photo. 3시료의 미세조직을 주사전자 현미경으로 나타낸 것이다. 단조 시작온도가 높아질수록 마르텐사이트의 라스 크기가 작아질 뿐만 아니라 방향성이 없이 무질서하게 존재하고 있는 것을 알 수 있다.



Photo 3 OM microstructures showing the effect of forging starting temperature in 9Cr-1Mo steel
 Forging starting temperature : a) 1150°C b) 1200°C c) 1250°C

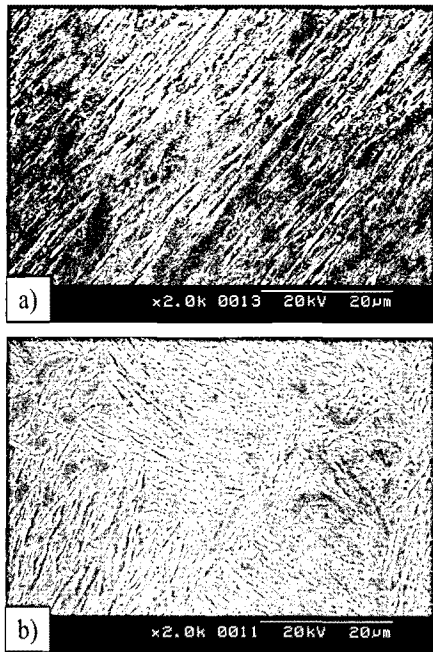


Photo. 4 SEM microstructures showing the effect of forging starting temperature in 9Cr-1Mo steel
 Forging starting temperature : a) 1150°C b) 1250°C

Fig. 3은 인장성질에 미치는 단조 시작온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조 시작온도가 증가할수록 인장강도는 서서히 증가하고 있는데 반하여 연신율은 서서히 감소하고 있음을 알 수 있다.

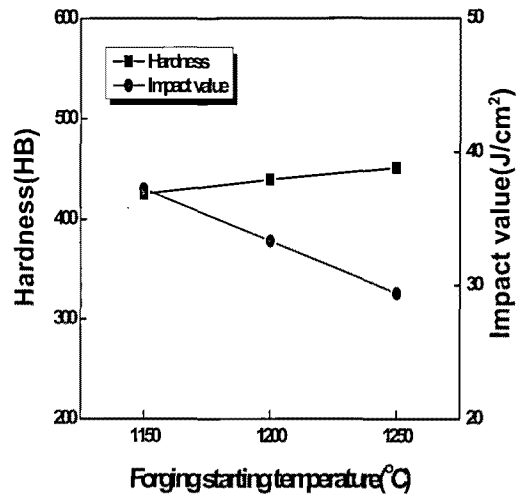


Fig. 4 Effect of forging starting temperature on the hardness and impact value in 9Cr-1Mo steel

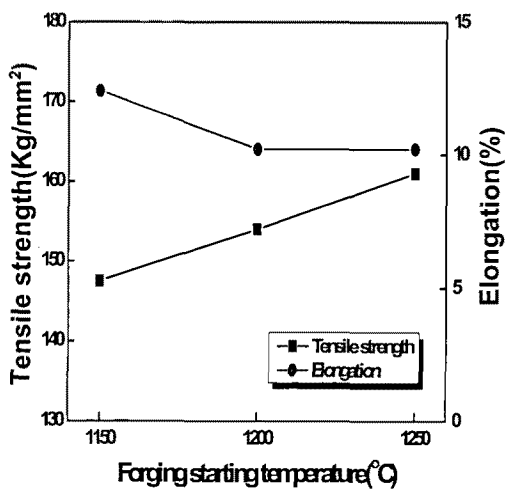


Fig. 3 Effect of forging starting temperature on tensile strength and elongation in 9Cr-1Mo steel

Fig. 4는 경도와 충격인성에 미치는 단조 시작온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조 시작온도가 높아질수록 경도는 서서히 증가하고 있는데 반하여 충격인성은 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 단조 시작온도가 증가할수록 강도와 경도가 증가하고 연신율과 충격인성이 감소하는 이유는 단조 시작온도가 증가할수록 단조작업 구간은 고온의 영역으로 넓어지게 된다. 따라서 고온으로 단조작업온도 구간이 넓어지게 되면 단조작업에 기인되는 냉각에 대한 구동력이 커지기 때문에 마르텐사이트내 고용되는 탄소 등이 많아질 뿐만 아니라, 마르텐사이트의 크기가 작아지는데 기인되어 경도가 높아지기 때문이라 생각된다⁴⁾.

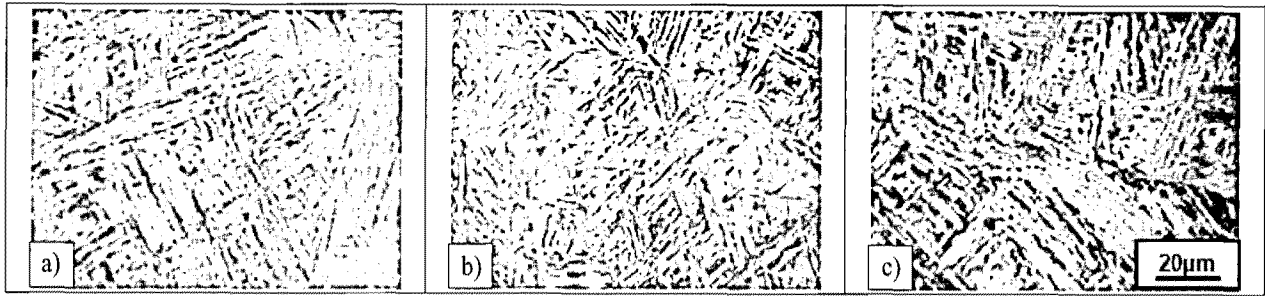


Photo. 5 OM microstructures showing the effect of forging finishing temperature in 9Cr-1Mo steel
 Forging starting temperature : a) 900°C b) 950°C c) 1000°C

3.3 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 단조 마무리 온도의 영향

Photo. 5는 미세조직에 미치는 단조 마무리온도의 영향을 알아보기 위하여, 원심주조 후 1200°C에서 단조비가 30%가 되게 단조작업 한 다음 여러 온도에서 단조 작업을 완료 하였을 때의 미세조직을 광학 현미경으로 조사하여 나타낸 것이다. 단조 마무리온도에 관계없이 모두 마르텐사이트 라스를 따라 미세한 탄화물이 석출되어 있는 비슷한 조직으로 되어 있으며, 단조 마무리온도가 높아질수록 마르텐사이트 조직이 약간 미세화 되고 있는 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

현미경으로 조사하여 나타낸 것이다. 단조 마무리온도가 높을 수록 마르텐사이트의 크기가 미세화되고 있고 무질서하게 배열되고 있는 것을 알 수 있다.

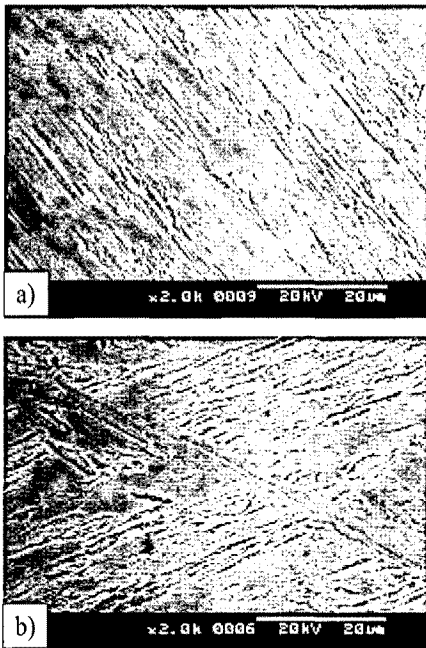


Photo. 6 SEM microstructures showing the effect of forging finishing temperature in 9Cr-1Mo steel
 Forging starting temperature : a) 900°C b) 1000°C

Photo. 6은 Photo. 5 시료의 미세조직을 주사전자

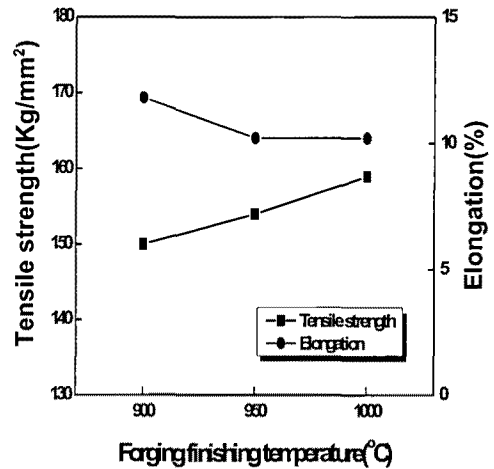


Fig. 5 Effect of forging finishing temperature on tensile strength and elongation in 9Cr-1Mo steel

Fig. 5는 인장성질에 미치는 단조 마무리온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조 마무리온도가 올라 갈수록 인장강도는 증가하고 있는데 반하여 연신율은 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 경도와 충격인성에 미치는 단조 마무리 온도의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조 마무리온도가 증가 할수록 경도는 증가하고, 충격인성은 낮아지고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 단조 마무리 온도가 증가 할수록 인장강도와 경도가 증가하고, 연신율과 충격인성이 감소하는 이유는 단조 마무리 온도가 높아질수록 고온으로 단조작업 온도 구간이 좁아지게 된다. 이렇게 되면 고온의 영역에서 단조작업 온도 구간이 좁은 영역범위 내에서 단조비가 30%가 되게 단조작업을 해야 한다. 따라서 상대적으로 단조작업에 따른 냉

각에 대한 구동력이 커지게 되고 그 결과 탄소와 Cr 등이 마르텐사이트의 조직 내에 많이 고용될 뿐만 아니라, 결함 등이 많이 도입되는데 기인되어 마르텐사이트의 경도가 높아지기 때문이라 판단된다⁴⁾.

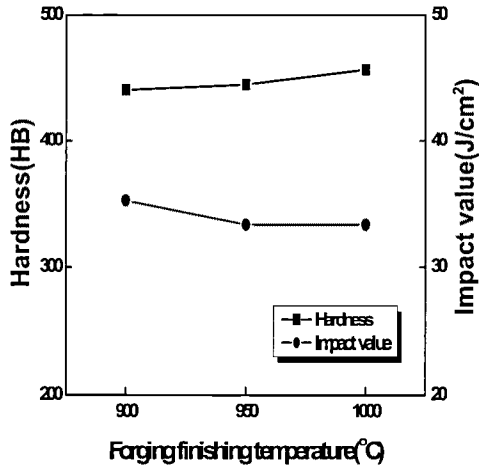


Fig. 6 Effect of forging finishing temperature on the hardness and impact value in 9Cr-1Mo steel

4. 결 론

9Cr-1Mo 내열강의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 단조 조건의 영향을 규명하기 위하여 단조비, 단조 시작온도 및 단조 마무리온도를 변화시켜 단조작업 한 다음 미세조직 및 기계적 성질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 원심주조 후 단조작업 한 시료는 단조비, 단조 시작온도 및 단조 마무리온도에 관계없이 마르텐사이트 조직으로 되어 있다.

2. 단조비가 증가 할수록 마르텐사이트의 경도가 높아지는데 기인되어 인장강도와 경도는 증가하는데 반하여 연신율과 충격값은 감소하였다.

3. 단조 시작온도 및 단조 마무리온도가 증가 할수록 마르텐사이트 조직의 경도가 높아지는데 기인되어 인장강도와 경도는 증가하고, 연신율과 충격값은 감소하였다.

4. 본 연구를 통하여 얻은 최적의 단조조건은 단조비 30%, 단조 시작온도 1200°C, 단조 마무리온도는 950°C이었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국 산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.

참 고 문 헌

1. 吉田豊明, 1995, "ガスタービン機關の超高温材料技術について", 耐熱金属材料, 第123會 研究報告, Vol. 36, No. 3, p. 275.
2. 강창룡 외 5인, 2000, "발전플랜트용 10Cr 페라이트 내열강의 라베스상 석출거동 및 기계적 성질", 한국동력 기계공학회지, 제6권, 제1호, pp. 1~7.
3. N. F. Vildamova et al., 1994, "Creep Behavior and structure 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 precipitation in 12Cr 1Mo V power plant steel", metallurgical transaction A, Vol. 23A, pp. 1171~1179.
6. S. Yoshiatsu et al., 1995, "Development of high strength 12%Cr steel pipe and tube for boilers", sumitomo kinzoku, Vol. 47, No. 4, p. 29.
7. 강창룡 외 5인, 2009, "원심주조된 내열강의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 단조 조건의 영향", 한국동력기계공학회지, 제13권, 제3호, pp. 47~52.