한국동력기계공학회지 제17권 제6호 pp. 115-121 2013년 12월 (ISSN 1226-7813)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 115-121, December 2013
Research paper

초 고 탄소 저합금강의 경도와 인성에 미치는 열간단조의 영향

Effect of Hot Forging on the Hardness and Toughness of Ultra High Carbon Low Alloy Steel

김종백* · 강창룡**†
Jong-Beak Kim · Chang-Yong Kang

(접수일 : 2013년 07월 31일, 수정일 : 2013년 10월 11일, 채택확정 : 2013년 10월 11일)

Abstract: This study was carried out to investigate the effect of hot forging on the hardness and impact value of ultra high carbon low alloy steel. With increasing hot forging ratio, thickness of the network and acicular proeutectoid cementite decreased, and than were broken up into particle shapes, when the forging ratio was 80%, the network and acicular shape of the as-cast state disappeared. Interlamellar spacing and the thickness of eutectoid cementite decreased with increasing forging ratio, and were broken up into particle shapes, which then became spheroidized. With increasing hot forging ratio, hardness, tensile strength, elongation and impact value were not changed up 50%, and then hardness rapidly decreased, while impact value rapidly increased. Hardness and impact value was greatly affected by the disappeared of network and acicular shape of proeutectoid cementite, and became particle shape than thickness reduction of proeutectoid and eutectoid cementite.

Key Words : Ultra High Carbon, Hot Forging, Hardness, Impact Value, Proeutectoid and Eutectoid Cementite.

1. 서 론

0.8% 이상의 C를 갖는 과공석강은 퍼얼라이트 조직에 초석 시멘타이트가 전 오스테나이트의 입계를 따라 망상으로 석출되어 있을 뿐만 아니라, 전 오스테나이트의 입계에서 퍼얼라이트 내부로 또는 퍼얼라이트 내에서 침상으로 석출되어 있기 때문에 극히 취약하여[1] 공업적으로 다양하게 사용되지 못하고 있다.

그러나 근년에 와서는 과공석강에 가공과 열처리 등을 단독 또는 복합적으로 행하여 망상 및 침상 초석 시멘타이트(Proeutectoid cementite)와 퍼얼라이트 내 공석 시멘타이트(Eutectoid cementite)를 입상 또는 구상으로 만들어 강도, 인성 등을 향상시켜 바이트, 드릴과 같은 공구와 발전플랜트 산업 설비 등의 부품으로 사용하고 있다. 뿐만 아니라, 이러한 고탄소강에 Cr, Ni, W, Mo 등과 같은 합금원소를 하나 또는 둘 이상 소량 첨가하여 경화능을 향상시킴과 동시에 시멘타이트보다 높은 경도를 갖는 합금 탄화물을 생성시킴으로서 내마

**† 강창룡 : 부경대학교 금속공학과
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346
*김종백 : 부경대학교 금속공학과

**† Chang-Yong Kang : Department of Metallurgical Enginerring, Pukyung University
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6356
*Jong-Beak Kim : Department of Metallurgical Enginerring, Pukyung University

모성 등을 높혀 금형과 롤 소재 등에도 사용하고 있다.

Table 1. Chemical composition of the specimen (wt.%)

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Fe
1.49	0.55	0.77	1.0	1.21	0.27	0.055	bal.

그러나 풍력 등과 같은 신 재생 에너지산업 및 산업기기 등에 관련된 산업분야에서는 더 높은 강도와 내마모성 등을 갖는 부품이 요구되고 있고, 이러한 요구에 부응하기 위하여 초 고탄소강에서 인성을 확보하여 이러한 산업분야에 적용하고자 하는 노력이 진행되고 있지만[1-6] 아직 만족할 만한 결과가 얻어지지 못하고 있다.

본 연구는 이러한 측면을 고려하여 1.5%의 극히 많은 C와 경화능 향상과 강력한 탄화물을 형성하는 합금원소인 Cr, Mo 등이 소량 첨가된 초 고탄소 저합금강에서 경도와 인성 등을 향상시켜 근래 괄목하게 성장하고 있는 조선 산업분야와 원자력, 풍력 등과 같은 신재생에너지 산업분야 등에 적용하는데 필요한 자료를 얻기 위해 수행하였다. 즉 1.5%의 탄소와 Cr, Mo 등과 같은 합금원소를 소량 갖는 초 고탄소 합금강에서 단조비를 달리하여 열간단조 한 다음, 열간단조비 변화에 따른 미세조직 변화를 조사하고, 이러한 미세조직 변화가 경도와 인성에 미치는 영향을 조사 하였다.

2. 실험방법

2.1 시 료

시료는 전해철 Fe-Cr, 금속 Mo 등을 사용하여 고주파 용해로에서 용해하여 소정의 크기를 갖는 잉곳으로 만들었다. 다음 이를 1,150℃에서 12시간 유지 후 공랭하는 오스테나이트화 처리한 다음 시료로 사용하였다. 이때 사용된 시료의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 단 조

열간단조의 영향을 조사하기 위한 열간단조는 시료를 1,200℃의 온도로 가열한 다음 소정시간 유지 후 단조비가 각 25%, 50%, 65%, 80%가 되게 단조 하였다. 이 때 단조 마무리 온도는 모두 950℃ 이상이 되도록 하였고, 단조작업 후에는 공랭하였다.

2.3 미세조직 관찰

주방상태와 열간단조 한 시료의 미세조직은 광학현미경과 주사전자현미경(SEM, HitachiS-2400)으로 관찰하였다. 한편, 단조비 변화에 따른 망상 및 침상의 초석 시멘타이트 두께와 퍼얼라이트 내 공석 시멘타이트 두께와 층 간격은 주사전자현미경을 이용하여 관찰된 사진으로부터 화상분석시험기를 사용하여 두께별로 여러 회 측정하여 평균해서 구하였다.

2.4 경도 및 충격시험

주방상태와 단조비를 달리하여 열간단조 한 시료의 경도측정은 로크웰 경도시험기를 사용하여 1㎏의 하중으로 7회 이상 측정하여 최대 값과 최소 값을 제외한 다음 평균하여 구하였다. 한편, 충격시험은 2㎜ V 노치를 갖는 샤르피 충격시험편(JIS B 7703)으로 제작한 다음 상온에서 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Fig. 1은 1.5% C를 갖는 초 고탄소 합금강의 주방상태 조직을 광학현미경과 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 퍼얼라이트 조직에 초석 시멘타이트가(광학현미경에서는 흰색, 주사전자현미경 사진에서는 검은색) 전 오스테나이트 입 계를 따라 망상으로 석출되어 있을 뿐만 아니라 입계에서 퍼얼라이트 내로, 또는 퍼얼라이트 내에서 침상으로 석출되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 초 고탄소 합금강의 미세조직에 미치는 열간단조비의 영향을 조사하기 위하여 시료를 1200℃에서 950℃ 사이의 온도에서 단조비를 달리하여 열간 단조한 다음 공랭한 시료의 미세조직을 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 25% 단조한 시료의 사진 a)에서는 단조의 영향을 크게 받지

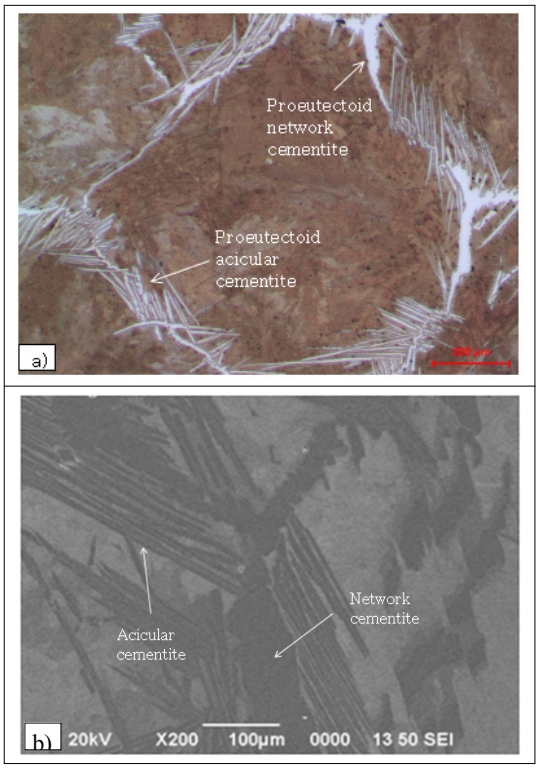

Fig. 1 Micrographs of ultra high carbon low alloys steel at as-cast. a) Optical, b) SEM

않아 주방상태와 같은 조직으로 되어있지만, 망상과 침상의 초석 및 공석 시멘타이트의 두께는 약간 작아져 있는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 단조비가 65%인 b)에서는 망상의 초석 시멘타이트는 전 오스테나이트 입계를 따라 존재하고 있지만 일부는 끊어져 입상으로 되어 있고, 침상의 초석 시멘타이트와 퍼얼라이트 내 공석 시멘타이트는 대부분 끊어져 입상으로 되어 있는 것을 알 수 있다.

단조비가 더욱 증가하여 80%가 되면 망상 및 침상의 초석시멘타이트는 전부 끊어져 입상으로 되고 있을 뿐만 아니라, 망상과 침상 형태도 없어지고 있는 것을 알 수 있다. 또한 퍼얼라이트 내 공석 시멘타이트도 전부 입상으로 되어 있는 것을 알 수 있다.

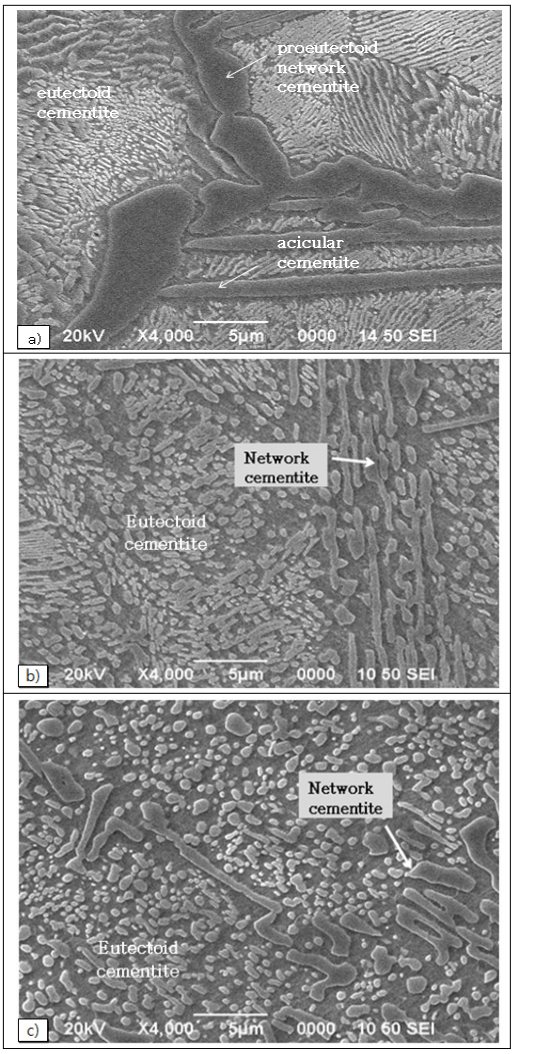

Fig. 2 SEM micrographs showing the effect of hot forging ratio on microstructure change in ultra high carbon low alloys steel.
a)25%, c)65%, d)80%

Fig. 3은 공석 시멘타이트에 미치는 열간단조비의 영향을 알아보기 위하여 주방상태와 25% 열간단조 한 시료의 퍼얼라이트 조직을 주사전자현미경으로 비교하여 나타낸 것이다. 주방상태에 비해 25% 열간단조 한 시료의 공석 시멘타이트 두께와 층간거리가 적은 것을 알 수 있다.

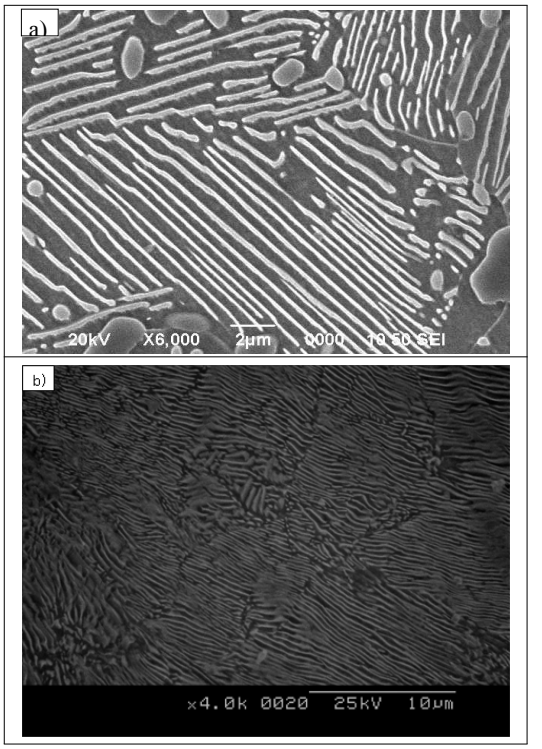

Fig. 3 SEM micrographs showing the effect of hot forging ratio on size of pearlite icrostructure in ultra high low alloys carbon steel. a)as cast, b)25% forging

3.2 시멘타이트와 경도, 충격인성에 미치는 단조비의 영향

Fig. 4는 망상 및 침상 초석 시멘타이트의 두께에 미치는 단조비의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 증가함에 따라 망상 및 침상 초석 시멘타이트 두께가 빠르게 적어지다 단조비가 25% 이상이 되면 서서히 적어지고 있는 것을 알 수 있다(단조비가 80%인 시료는 망상과 침상 초석 시멘타이트가 전부 끊어져 입상 및 구상으로 되기 때문에 0으로 하였음).

Fig. 5는 퍼얼라이트 내 공석 시멘타이트의 두께와 층간격에 미치는 단조비의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 증가함에 따라 공석 시멘타이트의 두께와 층간격이 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있다(역시 50% 단조한 시료는 공석

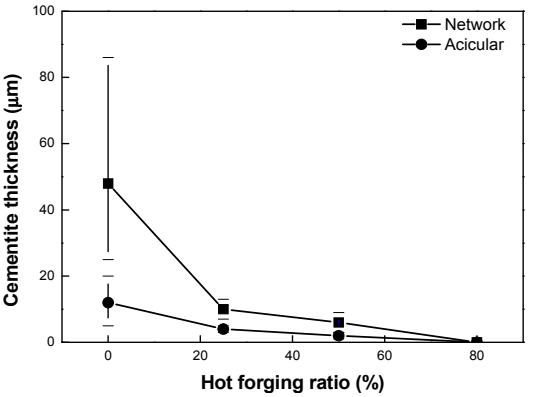

Fig. 4 Effect of hot forging ratio on network and acicular proeutectoid cementite thickness in ultra high carbon low alloys steel.

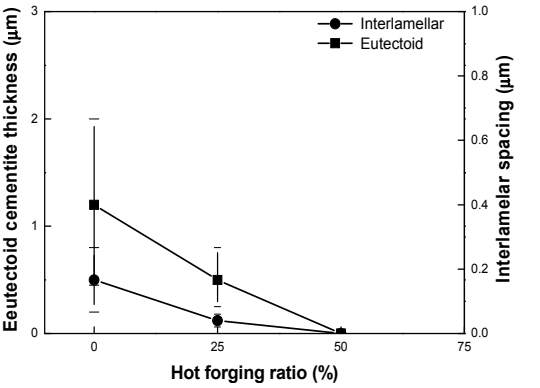

Fig. 5 Effect of hot forging ratio on the proeutectoid cementite thickness and interlamelar spacing ultra high carbon low alloys steel.

시멘타이트가 전부 끊어져 입상으로 되기 때문에 0으로 하였음).

Fig. 6은 초 고탄소 저합금강의 경도와 충격인성에 미치는 단조비의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 단조비가 증가하여도 경도와 충격인성은 큰 변화가 없다가 단조비가 50%보다 높아지면 경도는 빠르게 감소하고, 충격인성은 빠르게 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 단조비가 50%까지는 공석 시멘타이트가 끊어져 입상으로 되고, 초석 시멘타이트의 두께가 감소하지만 망상 및 침

상 형태가 그대로 유지되고 있기 때문에 경도와 충격인성이 크게 변화하지 않는다. 그러나 단조비가 50% 이상이 되면 망상 및 침상의 초석 시멘타이트가 끊어져 입상으로 될 뿐만 아니라, 침상과 망상 형태도 없어지기 때문에 빠르게 경도는 낮아지고 충격인성은 높아진다고 판단된다[1,5].

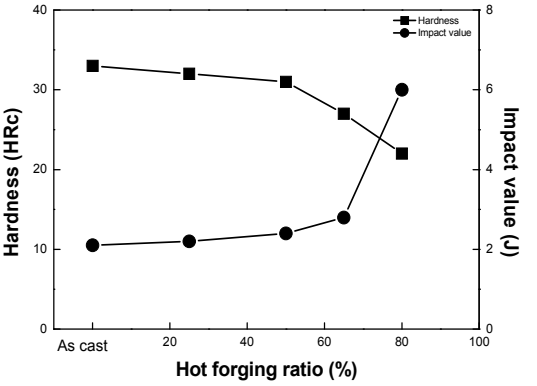

Fig. 6 Effect of hot forging ratio on the hardness and impact value in ultra high carbon low alloys steel.

3.3 경도와 충격인성에 미치는 미세조직의 영향

Fig. 7은 단조비를 달리하여 열간단조 한 시료의 경도와 충격인성에 미치는 망상 시멘타이트 두께의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 망상 시멘타이트의 두께가 감소하여도 경도와 충격값은 큰 변화가 없다가 두께가 10㎛ 이하가 되면 빠르게 경도는 낮아지고 충격인성은 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 경도와 충격인성에 미치는 침상 시멘타이트 두께의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 역시 침상 시멘타이트의 두께가 감소하여도 경도와 충격값은 큰 변화가 없다가 두께가 5㎛ 이하가 되면 빠르게 경도는 낮아지고 충격값은 증가하는 것을 알 수 있다.

이상의 결과에서 경도와 충격값은 초석 시멘타이트의 두께가 감소하여도 큰 변화가 없다가 망상 시멘타이트는 10㎛, 침상 시멘타이트는 5㎛ 이상이 되면 빠르게 경도는 낮아지고, 충격값은 증가하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 이와 같 이 초석 및 공석 시멘타이트의 두께가 특정 두께 이하가 되면 경도가 낮아지고 충격값이 증가하는 이유는 초석 시멘타이트의 두께가 감소하는데 기인되는 것 보다는 Fig. 2와 6의 단조비 변화에 따른 미세조직과 경도 및 충격인성 변화의 결과로부터 망상 및 침상의 초석 시멘타이트가 끊어져 입상으로 될 뿐만 아니라 망상과 침상 형태가 없어지는데 더 크게 영향을 받기 때문이라 생각된다[1,5].

Fig. 9는 경도와 충격값에 미치는 공석 시멘타

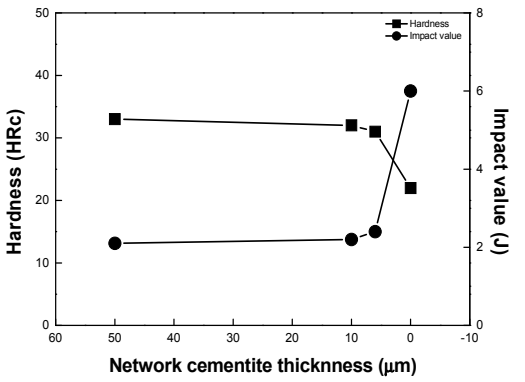

Fig. 7 Effect of network proeutectoid cementite thickness on the hardness and impact value in ultra high carbon low alloys steel.

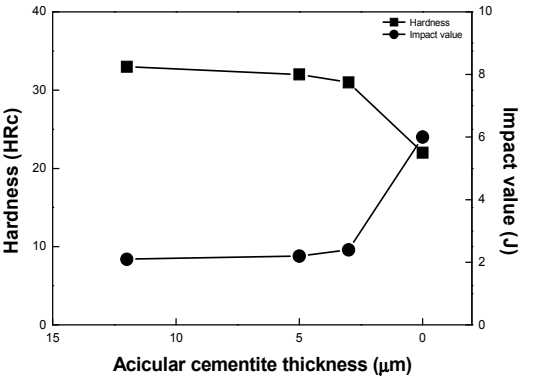

Fig. 8 Effect of acicular proeutectoid cementite thickness on the hardness and impact value in ultra high carbon low alloys steel.

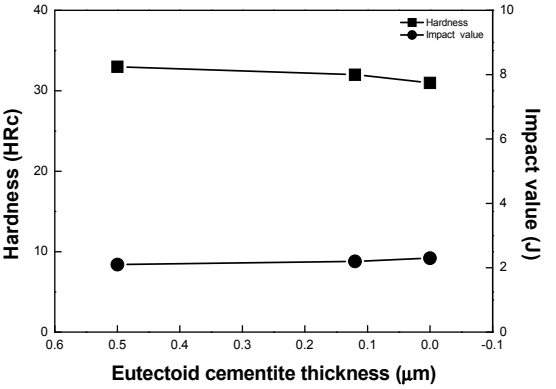

Fig. 9 Effect of eutectoid cementite thickness on the hardness and impact value in ultra high carbon steel.

이트 두께의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 공석 시멘타이트의 두께가 감소함에 따라 서서히 경도는 감소하고, 충격인성은 증가하고 있는 경향을 나타내고 있지만 그 차이는 크지 않은 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 경도와 충격인성에 미치는 공석 시멘타이트 층간거리의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 공석 시멘타이트의 층간거리가 감소함에 따라 역시 서서히 경도는 감소하고, 충격인성은 증가하고 있지만 그 차이는 크지 않은 것을 알 수 있다.

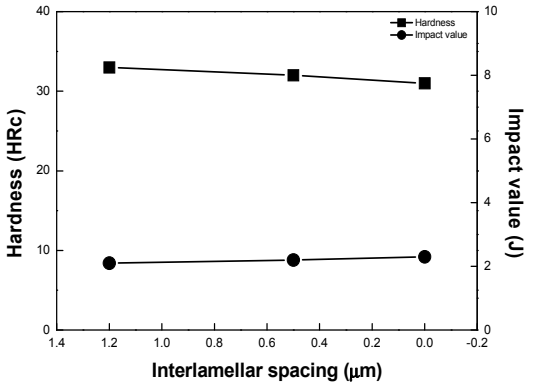

Fig. 10 Effect of eutectoid cementite interlamellar spacing on hardness and impact value in ultra high carbon low alloys steel.

이상의 결과로부터 공석 시멘타이트의 두께와 층간격이 작아질수록 경도가 낮아지고 충격인성이 높아지고 있는 경향을 나타내고 있지만 그 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. 따라서 이 결과로부터 경도와 충격인성은 초석 및 공석 시멘타이트의 두께와 공석 시멘타이트의 층 간거리에 크게 영향을 받지 않고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

초 고탄소 저합금강의 경도와 충격에 미치는 열간단조비 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단조비가 증가할수록 망상 및 침상 초석 시멘타이트의 두께는 감소하였고, 단조비가 50% 이상이 되면 망상 및 침상형태의 초석 시멘타이트가 끊어져 입상으로 되기 시작하며, 단조비가 80%가 되면 주방상태의 망상과 침상 형태가 없어졌다.

2. 단조비가 증가할수록 퍼얼라이트 조직 내 공석 시멘타이트 두께는 감소하다 깨어져 입상으로 된 다음 구상으로 되고, 시멘타이트의 층간거리는 감소하였다.

3. 단조비가 증가할수록 경도 및 충격값은 큰 변화가 없다가 50% 이상이 되면 초석 및 공석 시멘타이트가 입상으로 될 뿐만 아니라 망상과 침상 형태가 없어지는데 기인되어 빠르게 경도는 감소하고, 충격인성은 증가하였다.

4. 경도 및 충격인성은 초석 및 공석 시멘타이트의 두께가 감소하고 층간거리가 작아지는데 보다 초석 시멘타이트가 입상이 되고, 망상과 침상 형태가 없어지는데 더 크게 영향을 받았다.

References

1. S. L. Zhang, X. J. Sun, H. Dong, 2006,“Effect of deformation on the evolution of spheroidization for the ultra high carbon steel", Mater. Sci. Eng. A 432, pp. 324-331.

2. N. Ozdemir, N. Orhan, 2006," Investigation on the superplasticity behavior of ultrahigh carbon

steel", Mater. and Design, 27, pp. 706-709
3. Z. L. Zhang, Y. N. Liu, J. W. Zhu, G. Yu, 2008, "Processing and properties of ultrahigh carbon steel", Mate. Sci. Eng. A 483, pp. 64-66.
4. K. P. Liu, X. I. Dun, J. P. Lai, H. S. Liu, 2011, "Effect of modification on microstructure and properties of ultrahigh carbon steel", Mate. Sci. Eng. A 528, pp. 8263-8268.
5. C. Y. Kang, M. K. Kwon, C. H. Kim, 2012," Effect of Microstructure Change on the Mechanical Properties in Hot-Forged Ultra High Carbon Steel", Korean J. Met. Mater., Vol. 50, No. 3, pp. 212-217.
6. A. F. Vicente, M. Carisi, F. Penalba, E. Taleff, O. A. Ruano, 2002, "Toughness dependence on the microstructural parameters for an ultrahigh carbon steel", Mate. Sci. Eng. A 335, pp. 175-185.