

100Kgf/mm²급 선조질강의 합금원소에 따른 유도가열효과에 관한 연구

박지태^{1#} · 안순태¹ · 권대호¹ · 서주현¹ · 강남현² · 윤덕재³

Study on the Effect of Induction Heating with Alloying Elements for the Pre-Heat Treated Steel of 100kgf/mm² Tensile Strength

J. T. Park , S. T. Ahn, D. H. Kwon, J. H. Seo, N. H. Kang, D. J. Youn

Abstract

This study is for investigating the effect of induction heating with various alloy elements to manufacture the pre-heat treated steels of 100kgf/mm² for cold heading. For four kinds of steels, the condition of induction heating (especially, induction tempering) were observed, and their microstructure and tensile and compressive properties were investigated. The middle carbon steel and the low carbon Cr-Mo steel are needed the higher Grange-Baughman tempering parameter than that of the low carbon Cr steel to obtain 100kgf/mm² tensile strength. For accomplishing the pre-heat treated steel of 100kgf/mm² tensile strength having advanced cold heading, It is needed that the pre-heat treated steel is manufactured by induction quenching and tempering with the low carbon alloy steel to have the high ratio of ferrite and the fine globular cementite simultaneously.

Key Words : Pre-Heat Treated Steel, Induction Heating, Fine Globular Cementite, Cold Heading

1. 서론

최근 들어 전세계적인 경기침체와 지구온난화에 대한 온실가스 규제 움직임으로 인해 자동차 산업에서도 차량 경량화와 부품 제조비용의 절감이 가능한 환경친화형 고강도 철강재료의 개발이 중요한 과제가 되고 있다. 국내에서도 자동차 볼트류에 적용되는 냉간압조용 강선의 시장에서 고강도이면서 성형성이 우수하여, 냉간압조 후의 퀴칭-템퍼링 공정을 생략할 수 있는 에너지 절약형 철강재료의 개발이 이슈화되고 있는 실정이다.

이러한 냉간압조용 강선시장의 환경에 발맞춰 새롭게 부각되고 있는 철강재료로서 유도가열 열처리된 선조질강이 있다. 이 선조질강은 일반 저

탄소강을 유도가열에 의해 퀴칭-템퍼링을 실시하여 미리 강도를 부여한 강선으로서, 종래의 냉간압조 전에 실시하던 구상화소둔 및 냉간압조 후에 실시하던 퀴칭-템퍼링공정을 동시에 생략할 수 있는 장점이 있다[1]. 또한 이 강선은 고강도이면서도 냉간압조시 변형경화가 작아서 단조금형의 수명저하를 최소화할 수 있는 장점도 있다[2]. 이러한 우수성으로 인해 현재 80~90kgf/mm²급의 타이로드 및 가이드로드 등의 볼트류에 적용, 양산되고 있다.

그러나, 100kgf/mm²급 이상에서는 연성의 저하에 따른 냉간압조성의 저하가 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 종류의 화학조성을 가지는 여러 강선에 대해 유도가열 열처리를 실시하여

1. 삼화강봉(주)
2. 부산대학교 재료공학부
3. 한국생산기술연구원
교신저자 : 삼화강봉㈜

E-mail: stahn@samhwasteel.com

인장강도가 100kgf/mm²이면서 마르텐사이트 기지로부터 석출되는 탄화물을 더욱 미세구상화 시켜 고강도이면서도 냉간압조성을 개선할 수 있는 적절한 화학조성 및 열처리 조건을 도출하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용될 시편은 표 1과 같이 4종류의 화학조성을 가지는 강선을 8mm의 직경으로 신선한 후 유도가열 퀴칭-템퍼링하여 제작하였다. 퀴칭 열처리는 A3 변태점 이상에서 수십초간 급속가열 및 유지에 의해 균질화 열처리하고 수냉을 하였다. 이때의 각 화학조성 별 오스테나이트 입자 크기는 ASTM No. 10.5~11.0 수준으로 제작하였다. 템퍼링은 퀴칭한 시편을 400℃~ A1변태점 이하의 범위에서 50℃간격으로 가열, 유지 후 수냉하였다.

템퍼링된 강선의 인장시편은 각 온도별로 템퍼링한 시료들을 감면율 5%로 신선한 후에 ASTM E8의 sub-size로 제작하였다. 인장시험은 상온에서 2mm/min의 속도로 실험하였다. 압축시편은 열처리된 시료들을 감면율 5%로 신선한 후에 직경 7mm, 길이 10.5mm의 원통형으로 가공하였다. 압축시험 방법은 시험편을 100톤 인장시험기(SHIMADZU社)를 사용하여 2mm/min 속도로 압축을 60%까지 시험하였다. 미세조직의 분석을 위하여 나이탈 용액을 사용하여 에칭하였고 주사전자현미경(FE-SEM, S-4800, HITACHI)을 사용하여 관찰하였다.

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

Steel	C	Mn	Cr	Mo
0.2%C-Cr	0.21	0.82	0.82	-
0.2%C-Cr-Mo	0.20	0.82	1.10	0.19
0.35%C	0.34	0.76	-	-
0.45%C	0.47	0.75	-	-

3. 실험 결과

3.1. 화학조성별 템퍼링 열처리 조건비교

그림 1은 4종류의 화학조성에 대해 유도가열 퀴칭한 시편들을 조건별로 템퍼링하여 그에 따른 인장강도 변화를 나타낸 것이다. 템퍼링 조건은

Grange-Baughman tempering parameter (이하 GBTP)로 나타내었고 그 식은 다음과 같다[3].

$$GBTP = 1.8 \times T \times (14.44 + \log_{10} t) \quad (1)$$

식 (1)에서 T는 절대온도, t는 시간이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 화학조성 별로 인장강도 100kgf/mm²의 시편을 얻기 위해서는 0.2%C-Cr는 26,700, 0.2%C-Cr-Mo는 29,000, 0.35%C는 27,900, 0.45%C는 29,600 임을 알 수 있다. 또한, GBTP는 C 함량이 높을수록, Mo가 함유될수록 높게 나타났다. 또한, 특별히 주목할 만한 것은 0.35%C의 중탄소강 보다는 0.20%C의 저탄소강이지만, Cr과 Mo가 함유된 강선이 동일한 인장강도를 얻는데 더 높은 GBTP가 필요함을 알 수 있었다.

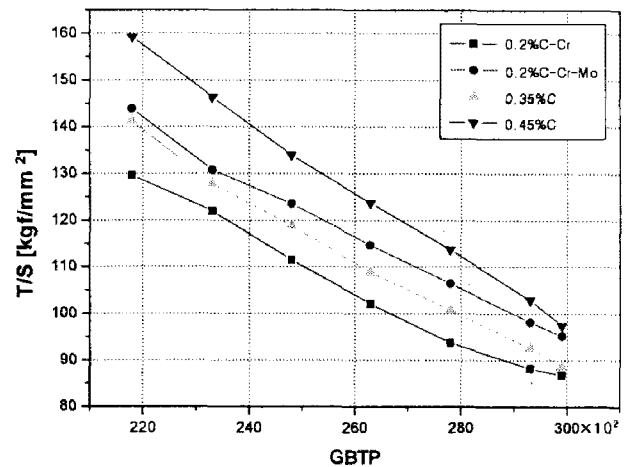


Fig. 1 Hardness for alloy steels plotted in terms of the Grange-Baughman tempering parameter

3.2. 화학조성별 고강도 강선의 미세조직 비교

그림 2는 화학조성 별로 인장강도 100kgf/mm²일 때의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 0.2%C-Cr 및 0.2%C-Cr-Mo와 같은 저탄소 합금강은 시멘타이트 입자의 크기가 평균 약 75nm 수준으로서 미세하게 매트릭스에 분산되어 있으며, 0.35%C 및 0.45%C와 같은 중탄소강은 시멘타이트의 입자 크기가 평균 120nm로서 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 또한 GBTP가 낮은 0.2%C-Cr 및 0.35%C는 시멘타이트 입자의 구상화율이 낮은 반면에 GBTP가 상대적으로 높은 0.2%C-Cr-Mo 및 0.45%C는 시멘타이트 입자의 구상화율이 높은 것을 확인할 수 있다.

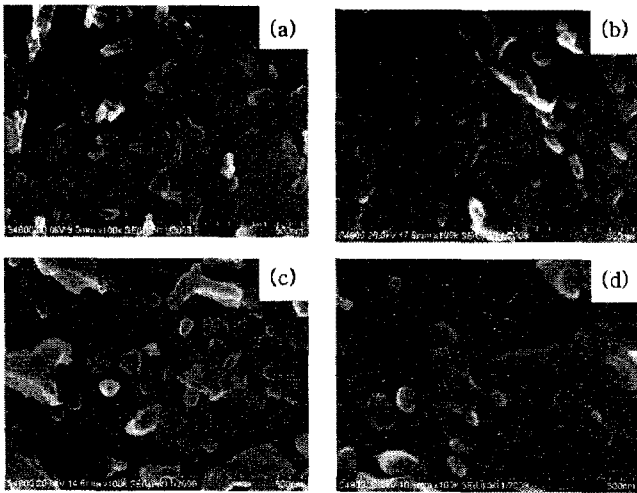


Fig. 2 FE-SEM micrographs of matrix, (a) 0.2%C-Cr (b) 0.2%C-Cr-Mo (c) 0.35%C (d) 0.45%C

표 2는 화학조성 별로 인장특성을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 4종류의 화학조성 모두 미세한 오스테나이트 결정립(ASM No. 10.5~11.0) 및 미세 분산 석출된 75~120nm 크기의 시멘타이트 입자로 인해 항복비(Y/R)가 대체로 90%이상으로 높게 나타남을 알 수 있다. 반면에 0.45%C의 화학조성에서 다소 항복비가 낮게 나타나는 이유는 GBTP가 높아 석출 시멘타이트의 응집, 조대화가 다른 시편 대비하여 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 단면감소율(R.A)은 0.2%C-Cr 및 0.2%C-Cr-Mo가 높게 나타나는데 이는 탄화물 석출 이후의 기지금속의 페라이트 분율과 관계가 있음을 알 수 있다.

그림 3은 화학조성 별로 압축시편을 60%의 압축율로 시험하였을 때의 결과를 보여주고 있다. 인장시험 결과에서와 마찬가지로 압축시험에서도 탄소 함량이 적고 시멘타이트 입자의 크기가 작은 화학조성이 변형 경화능이 낮은 것을 알 수 있다.

Table 2. Results of tensile test of Steels

Steel	Y/R (%)	T/S (N/mm ²)	R.A (%)
0.2%C-Cr	92.5	1,014	74.2
0.2%C-Cr-Mo	90.4	1,008	65.6
0.35%C	90.3	978	64.6
0.45%C	89.9	986	60.7

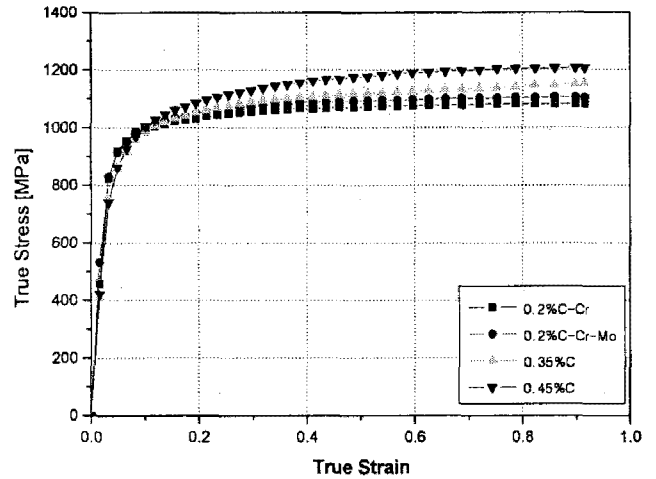


Fig. 3 Comparison of true strain - true stress curve of compressive test for alloy steels, (a) 0.2%C-Cr (b) 0.2%C-Cr-Mo (c) 0.35%C (d) 0.45%C

4. 결론

본 연구에서는 C, Cr, Mo의 합금 성분을 조절한 시료들을 유도가열 열처리하여 인장강도 100 kgf/mm²급의 선조질강을 제작한 후, 시료 별로 미세조직 관찰 및 인장, 압축 시험을 실시하여 합금 성분과 미세조직 간의 상관관계를 분석하였다.

1) C, Cr, Mo의 합금 성분을 많이 함유한 강선일수록 100kgf/mm²의 인장강도를 얻기 위해 더욱 높은 Grange-Baughman Tempering Parameter가 필요하였다.

2) 100kgf/mm²의 고강도 유도가열 선조질강이 우수한 냉간압조성을 가지기 위해서는 탄소 및 합금성분의 함량을 낮춰 페라이트 분율을 높이면서도, 보다 미세하게 구상화된 시멘타이트를 얻을 수 있도록 유도가열 템퍼링 열처리를 하여야 한다.

후 기

본 연구는 청정기반기술개발사업 중 “환경친화형 고강도 냉간압조용 선조질강 개발”의 세부과제로 진행된 결과이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다..

참 고 문 헌

- [1] 안순태, 이상래, 2002, 유도가열 템퍼링한 저탄소 Cr-Mo강의 기계적 성질, 대한금속 재료학회지, 제40권, 제2호, pp 162~167.
- [2] 박지태, 엄재근, 김종훈, 윤덕재, 전만수, 2008, 선조질강 ESW95의 기계적 성질에 관한 연구, 한국소성가공학회 2008년도 춘계학술대회 논문집, pp 439~443
- [3] S. L. Semiatin and D. E. Stutz, 1986, Induction Heat Treatment of Steel, pp 134~143