

CNG 고압용기의 기계적 성질에 미치는 열처리 조건의 영향

Effect of Heat Treatment Condition on the Mechanical Properties of CNG High Pressure Cylinder

*#이재우¹, 김기용², 최미영³

*#J. W. Lee(e@doowon.ac.kr)², K. Y. Kim², M. Y. Choi³

¹두원공과대학, ²(주)한국HPC, ³삼성기술연구소

Key words : CNG, High pressure cylinder, Heat treatment, Mechanical property

1. 서론

천연가스 자동차는, 배출 가스에 의한 대기 오염이나 지구 온난화 문제에 대한 대책으로서, 또한 석유 의존 탈피를 위하여, 한국, 이란, 태국, 인도 등의 동남아 여러 국가들의 CNG 차량 보급 정책으로 CNG 용기의 수요가 폭발적으로 증가되고 있고, 한국에서도, 2011년 2월말 기준 2만 1538대(97%) 가량이 CNG 버스로 교체됐다. 한국의 CNG 용기제조업체에서는 더욱 많은 물량 수출로 상당한 외화를 벌어들이고 있으나, 한국, 태국, 브라질, 미국, 인도, 방글라데시 등에서 한국산 CNG 용기를 장착한 차량의 폭발 사고가 잇따라 발생하고 있어, 한국산 CNG 용기 전체에 대한 불신감이 전 세계적으로 확산되고 있다. 따라서, 시급히 CNG 용기의 신뢰성을 향상시킬 필요가 있으므로, 본 연구에서는 CNG 고압용기의 기계적 성질에 미치는 열처리 조건의 영향을 검토하였다.

2. 시험 방법

Table 1은 사용한 SCM 435 소재의 화학 조성을 보인다. No. 1 시편은 C, Mn, Ni, Cr 및 Mo 함량이 No. 2 시편에 비하여 낮다. 노말라이징 온도는 850℃에서 1시간 유지한 후에 공냉하였고, 담금질 온도는 855℃에서 30분간 유지하였으며, 담금질 시의 냉각 조건을 변화시키기 위한 실험 이외에는 70℃의 오일 냉각조에서 냉각시켰다. 뜨임 시의 온도 및 유지 시간의 영향을 파악하기 위한 실험 이외에는 뜨임 온

Table 1 Chemical compositions of tested materials

| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| No.1 | 0.34 | 0.25 | 0.63 | 0.001 | 0.01 | 0.12 | 0.92 | 0.16 |
| No.2 | 0.37 | 0.25 | 0.85 | 0.001 | 0.01 | 0.22 | 1.10 | 0.28 |

도를 580℃에서 30분간 유지하였고, 뜨임 시의 냉각 조건을 파악하기 위한 실험 이외에는 강력 송풍기를 사용한 공냉조건으로 하였다. 기계적 성질 시험을 위한 시편은 제품의 본체로부터 채취하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 2는 기계적 성질에 미치는 담금질 시의 오일 냉각조의 온도의 영향을 나타낸다. No. 2의 시편은 담금질성을 향상시키는 C, Mn, Ni, Cr 및 Mo 함량이 No. 1 시편에 비하여 높기 때문에, 더욱 우수한 기계적 성질을 가지는 것으로 보인다. 각 화학 조성의 시편에서 오일 냉각조의 온도는 70℃인 경우가 인장 강도도 가장 높으며, 항복비도 가장 우수하며, 오일 냉각조의 온도가 이보다 높거나 낮은 경우에는 인장 강도와 항복비가 오일 냉각조의 온도는 70℃인 경우에 비하여 낮아지며, 인장강도의 감소가 연신율, 단면감소율 및 충격값의 향상을 가져오지는 않았다.

Table 3은 기계적 성질에 미치는 담금질 액의 영향을 보인다. 오일 냉각에 비하여 폴리머, 물 및 염욕의 경우가 다소 우수한 기계적 성질을 가지나, 그 영향은 No. 1의 시편에서 더욱 크게 나타난다.

Table 2 Effect of quenching oil temperature on mechanical properties

| | Oil temp. | Tensile strength (MPa) | Yield strength (MPa) | Yield ratio (%) | Elongation (%) | Reduction in area (%) | Charpy impact value (J/cm ²) | Hardness (HB) |
|------|-----------|------------------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------------|--|---------------|
| No.1 | 30 | 862 | 651 | 75.5 | 18 | 53 | 86 | 268 |
| | 50 | 901 | 687 | 76.2 | 18 | 52 | 86 | 272 |
| | 70 | 928 | 720 | 77.6 | 17 | 52 | 85 | 275 |
| | 90 | 873 | 663 | 75.9 | 18 | 53 | 87 | 270 |
| No.2 | 30 | 919 | 728 | 79.2 | 18 | 55 | 88 | 274 |
| | 50 | 941 | 774 | 82.3 | 19 | 54 | 87 | 289 |
| | 70 | 996 | 846 | 84.9 | 18 | 53 | 86 | 301 |
| | 90 | 928 | 743 | 80.1 | 19 | 54 | 88 | 276 |

Table 3 Effect of quenching fluid on mechanical properties

| | Fluid | Tensile strength (MPa) | Yield strength (MPa) | Yield ratio (%) | Elongation (%) | Reduction in area (%) | Charpy impact value (J/cm ²) | Hardness (HB) |
|------|--------------|---|----------------------|-----------------|----------------|-----------------------|--|---------------|
| No.1 | Oil | 928 | 720 | 77.6 | 17 | 52 | 85 | 275 |
| | 20% Poly-mer | 935 | 731 | 78.2 | 16 | 52 | 83 | 281 |
| | | Crack was formed in the one of 5 cylinder tested. | | | | | | |
| | water | 942 | 749 | 79.5 | 16 | 51 | 81 | 289 |
| | | Crack was formed in the two of 5 cylinder tested. | | | | | | |
| | 10% salt | 962 | 777 | 80.8 | 16 | 51 | 80 | 297 |
| No.2 | Oil | 996 | 846 | 84.9 | 18 | 53 | 86 | 301 |
| | 20% Poly-mer | 998 | 854 | 85.6 | 17 | 52 | 79 | 303 |
| | | Crack was formed in the two of 5 cylinder tested. | | | | | | |
| | water | 999 | 861 | 86.2 | 16 | 51 | 79 | 304 |
| | | Crack was formed in the one of 5 cylinder tested. | | | | | | |
| | 10% salt | 1006 | 872 | 86.7 | 15 | 50 | 78 | 305 |

Table 4 Effect of the test piece temperature taken out from oil bath on mechanical properties

| | Temp taken out (°C) | Tensile strength (MPa) | Yield strength (MPa) | Yield ratio (%) | Elongation (%) | Reduction in area (%) | Charpy impact value (J/cm ²) | Hardness (HB) |
|------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------------|--|---------------|
| No.1 | no taken out | 928 | 720 | 77.6 | 17 | 52 | 85 | 275 |
| | 400 | 926 | 721 | 77.9 | 17 | 51 | 83 | 273 |
| | 250 | 929 | 718 | 77.3 | 17 | 53 | 84 | 276 |
| No.2 | no taken out | 996 | 846 | 84.9 | 18 | 53 | 86 | 301 |
| | 400 | 992 | 835 | 84.2 | 18 | 52 | 85 | 300 |
| | 250 | 998 | 843 | 84.5 | 18 | 53 | 85 | 302 |

Table 5 Effect of tempering temperature and holding time on mechanical properties

| | Tempering temp. (°C), Holding time (min) | Tensile strength (MPa) | Yield strength (MPa) | Yield ratio (%) | Elongation (%) | Reduction in area (%) | Charpy impact value (J/cm ²) | Hardness (HB) |
|------|--|------------------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------------|--|---------------|
| No.1 | 530, 60 | 929 | 686 | 73.8 | 14 | 49 | 81 | 276 |
| | 580, 10 | 926 | 687 | 74.2 | 16 | 51 | 82 | 273 |
| | 580, 30 | 928 | 720 | 77.6 | 17 | 52 | 85 | 275 |
| | 580, 60 | 916 | 697 | 76.1 | 17 | 51 | 82 | 271 |
| | 630, 30 | 912 | 689 | 75.5 | 18 | 54 | 83 | 271 |
| No.2 | 530, 60 | 999 | 826 | 82.7 | 15 | 50 | 82 | 302 |
| | 580, 10 | 989 | 820 | 82.9 | 16 | 50 | 83 | 300 |
| | 580, 30 | 996 | 846 | 84.9 | 18 | 53 | 86 | 301 |
| | 580, 60 | 981 | 816 | 83.2 | 18 | 54 | 86 | 298 |
| | 630, 30 | 975 | 813 | 83.4 | 19 | 55 | 88 | 292 |

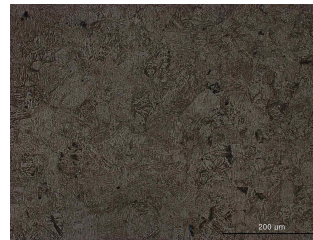
Table 4는 담금질 시의 유냉조로부터의 시편 꺼냄 온도가 기계적 성질에 미치는 영향을 보이는데, 이 온도는 그다지 영향을 미치지 않는다. 따라서, 400°C에서 유냉조에서 빼낸다면 생산성 향상에 도움이 될 것으로 판단된다. 한편 Table 5는 뜨임 온도와 유지 시간이 기계적 성질에 미치는 영향을 나타낸다. 뜨

Table 6 Effect of cooling type at tempering on mechanical properties

| | Cooling agent | Tensile strength (MPa) | Yield strength (MPa) | Yield ratio (%) | Elongation (%) | Reduction in area (%) | Charpy impact value (J/cm ²) | Hardness (HB) |
|------|---------------|------------------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------------|--|---------------|
| No.1 | air | 913 | 658 | 72.1 | 14 | 49 | 79 | 271 |
| | air blown | 928 | 720 | 77.6 | 17 | 52 | 85 | 275 |
| | | oil | 929 | 733 | 78.9 | 18 | 53 | 86 |
| | water | 930 | 736 | 79.1 | 18 | 53 | 86 | 277 |
| No.2 | air | 991 | 828 | 83.6 | 15 | 52 | 84 | 300 |
| | air blown | 996 | 846 | 84.9 | 18 | 53 | 86 | 301 |
| | | oil | 997 | 858 | 86.1 | 18 | 53 | 87 |
| | water | 998 | 857 | 85.9 | 18 | 53 | 87 | 302 |



(a) After quenching and tempering of No. 1



(b) After quenching and tempering of No. 2

Fig. 1 Micro-structure after quenching and tempering

임 온도가 낮고, 뜨임 온도에서의 유지 시간이 짧을수록 인장강도는 향상되고 연성은 낮아지나, 항복비는 오히려 낮아진다. 한편, Table 6은 뜨임 시의 냉각 방식이 기계적 성질에 미치는 영향을 보인다. 공냉보다는 강력 송풍기를 사용한 공냉에서 인장강도와 항복비가 증가된다.

Fig. 1은 화학 성분이 다른 두 종류의 시편을 담금질 및 뜨임한 후의 현미경 조직을 보는데, 솔바이트 조직으로 되어 있음을 알 수 있다.

결론

담금질 시에 70°C 오일에서의 냉각과, 뜨임 온도 580°C에서 30분 유지, 뜨임 시의 강제 공냉 조건에서 우수한 기계적 성질을 나타낸다.