

선상가열이 저온용강의 기계적 성질에 미치는 영향

Effect of line heating on mechanical property of steel for low temperature service

이민우 이은배 한종만
대우중공업(주)

1. 서론

선체외판의 선수 및 선미등은 심한 이중곡면을 이루며 이러한 곡면을 가공하기 위하여 기계적가공 및 열간가공이 이루어지고 있다. 열간가공은 적용두께 및 크기가 제한되고 대단위 설비가 요구되는 기계적가공에 비해 경제성이 뛰어나며 그 가공 효과가 매우 크므로 널리 사용된다. 선상가열은 그 작업이 용이하고 그 효과가 비교적 잘 예측되므로 가장 널리 사용된다. 그러나 선상가열에 의한 곡가공 작업은 작업자의 숙련도에 크게 의존하므로 가열온도 및 가열범위에 따라 그 효과는 다양하게 나타나며 강재가 heating에 의해 높은 온도의 열사이클을 받는 경우 모재가 지니는 조직 및 결정입도 등의 변화로 모재의 성질을 열화시키는 요인이 되기도 한다. 최근 국내에서도 LNG 나 LPG 등에 대한 수요가 증대로 저장 Tank 및 운송선의 제작이 활발하게 진행되고 있다. LPG선의 경우 그 설계온도가 최소 -55°C 로서 사용재료로는 Al의 첨가로 결정립을 미세화시켜 저온 인성을 향상시킨 C-Mn강을 적용하고 있다. 열처리 및 기계적 처리한 재료에 작업상 필요로 추가적인 열을 가했을 경우 재료에의 영향은 아직 파악되지 못하였고 이러한 작업에 대한 당사 및 관련 검사 규정이 상이하다. 따라서 본 실험에서는 선상가열에 있어서 가열온도 및 냉각방법이 국내에서 개발된 저온용 C-Mn강의 기계적 성질 및 미세조직에 미치는 영향을 조사하여 당사에서 LPG선의 제작시 선상가열 작업에 대한 기반 Data를 마련하고자 한다.

2. 실험

본 연구에서 사용된 강재는 POSCO에서 개발하여 생산한 두께 15mm, NV2-4 grade의 저온용 C-Mn Steel 이며 선상 가열시 최고 가열온도(Peak Temperature)를 변화시키기 위해 일정한 가스 유량을 일정하게 유지하고 가열속도를 조절하였다. 강재에 대한 실험을 하기 전에 실험에서 필요한 단계별(800, 900, 1000 $^{\circ}\text{C}$) 최고 가열온도를 나타내는 조건선정을 위해 실험을 먼저 행하였다. 시험편의 가열선 표면 밑으로 각각 1, 2, 4mm 위치까지 구멍을 뚫어 열전대를 점용접한 후 heating 조건에 따른 두께방향의 온도분포 및 최고가열 온도조건을 선정하였다. 최고가열 온도는 강판 가열선 중앙 밑 1 mm 지점을 기준으로 하여 약 1000 $^{\circ}\text{C}$ 까지 변화시켰고, 가열후 냉각방법은 공냉시에는 곧바로 공기중에서 냉각하였고 수냉시에는 수냉 호스와의 거리의 조절로 수냉개시온도를 조절하였다. 또한 반복가열에 의한 영향을 알아보기 위해 동일 부위를 2회 가열하였다. 이상과 같은 방법으로 선상 가열후 냉각 조건별로 시험편을 냉각한 후 가열선 부위에 대한 기계적 시험 및 각종 시험을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

최고 가열온도에 따른 모재 열영향부의 크기를 관찰해 보면 최고 가열온도의 증가에 따라 직선적으로 증가하였다. 또한 가열후 냉각 방법에 따른 열영향부 크기의 차이는 거의 없었다. Fig.1에서 알 수 있듯이 인장강도의 경우, 최고 가열온도와 냉각방법에 관계없이 모재와 비슷한 인장강도를 나타내고 있으며 항복강은 대부분의 경우에 있어서 모재에 비해 약간 감소하는 경향을 나타내고 있다. 최고가열온도가 높을 수록 또한 수냉개시온도가 높을 수록 항복강도의 감소량이 증가하였다. 또한 연신율의 변화를 보면 Fig.2에서 알 수 있듯이 전반적으로 최고 가열온도가 높을 수록 더 낮은 연신율을 보였으며 특히 1000 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 높은 온

도에서 가열되고 730℃이상에서 수냉된 시편은 원래의 모재에 비해 약 20%정도의 연신을 저하가 나타난다. 이러한 연신을 저하는 변태점이상에서 수냉개시시 많은 양의 martensite나 bainite의 형성으로 인한 극부적인 취화현상에 기인하는 것으로 판단되며 취성상의 생성에 의한 재료의 열화는 강도보다는 연성의 저하로써 잘 반영된다 할 수 있다. 선상가열 및 냉각에 따른 충격인성의 변화를 보면 Fig.3, 4 에서 알 수 있듯이 공냉의 경우 가열온도가 증가 할수록 약간 감소하는 경향을 나타내고 있으나 모재와 비슷하게 상당히 높은 충격인성을 나타내고 있다. 그러나 700℃ 이상에서 수냉한 경우는 -55℃시험온도에서 상당히 낮은 충격인성값을 보여주고 있다. 이러한 시편 에 대한 경도측정결과를 보면, Fig.5, 6에서 보듯이 수냉한 경우의 시편의 두께방향의 경도분포는 표면으로 부터 상당한 깊이까지 높은 경도값을 나타내고 있지만 공냉한 시편의 경우는 최고 가열온도에 따른 변화는 거의 나타나지 않았다.

4. 요약 및 결론

POSCO에서 생산된 저온용강을 선상가열한 후 냉각방법에 따른 기계적 성질을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선상가열후 공냉시키는 경우 가열온도 증가에 따른 충격인성의 저하는 거의 나타나지 않았다.
- 2) 선상가열후 700℃이상에서 수냉한 경우 연신율의 저하 및 저온 충격인성의 저하는 매우 현저하게 나타났다.

5. 참고 문헌

1. 허만주 외, TMCP강의 폭적작업시 Flame Heating이 기계적 성질에 미치는 영향, 대우조선 기술지, 제 29호, 1991, pp28~41
2. 정남호 외, 50kg/mm² 급 고장력 강판의 선상가열에 따른 판상 변형과 재질 변화, 대한용접학회지, Vol.3, No.1, 1985, pp11~21
3. 최기영 외, 강재의 선상가열에 따른 재료성질의 변화에 대하여, 기술 현대, Vol.9, No.3, 1989, pp33~40

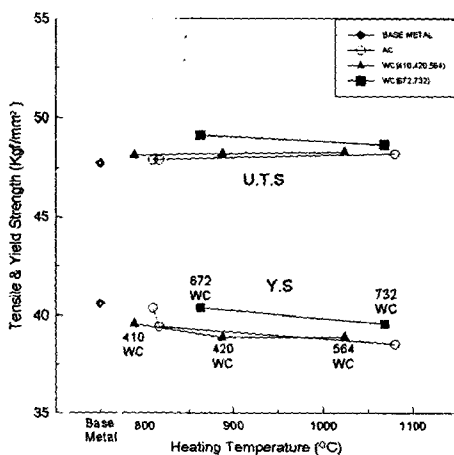


Fig.1 Effect of peak temperature & cooling condition on tensile properties of line-heated zone.

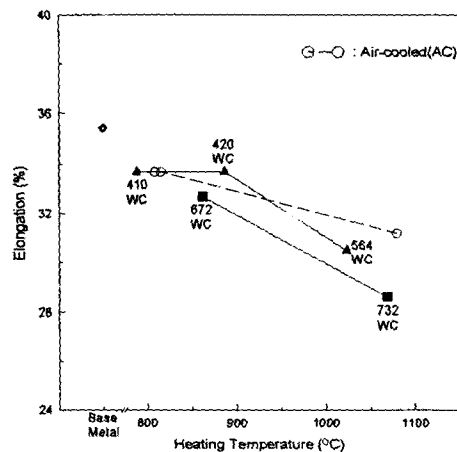


Fig.2 Effect of peak temperature & cooling condition on elongation of line-heated zone

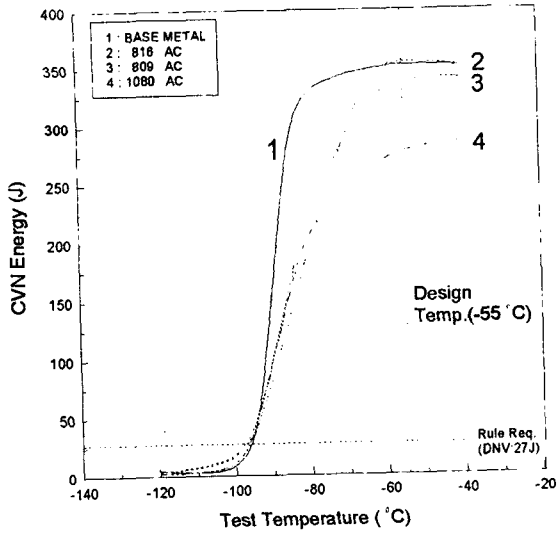


Fig. 3 Charpy-V transition curves of air-cooled zone, after line-heated with different peak temperature.

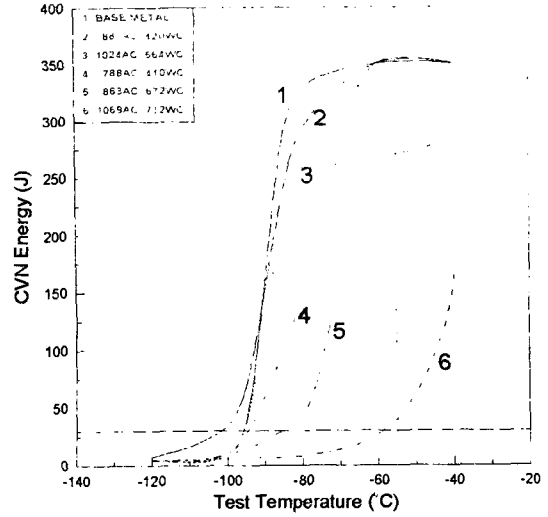


Fig.4 Charpy-V transition curves of water-cooled zone, after line-heated with different peak temperature

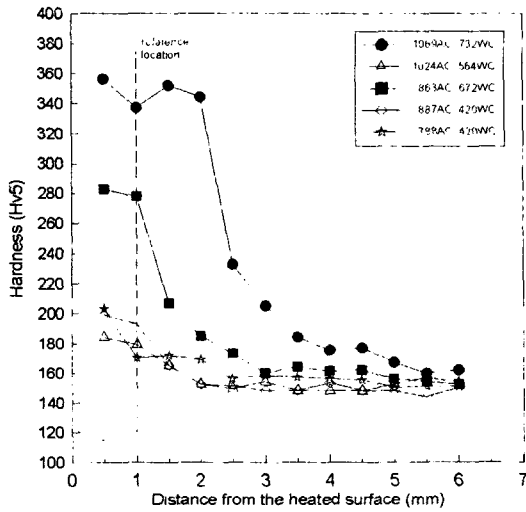


Fig.5 Hardness distribution of water-cooled zone along the center line.

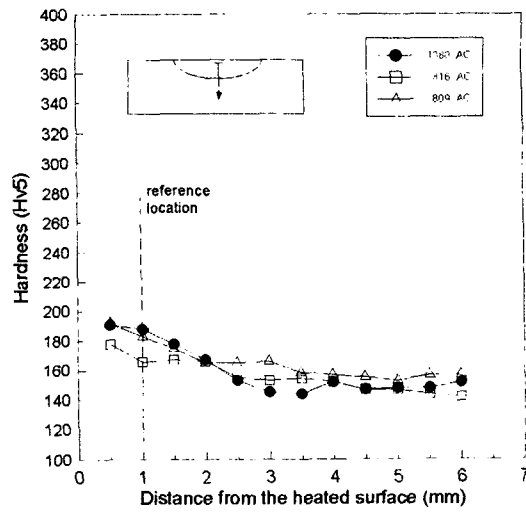


Fig.6 Hardness distribution of air-cooled zone along the center line.