

냉간 압연용 Work Roll 의 열충격 특성

박영철*, 김일봉, 전제영, 조규섭
한국중공업 기술연구원 소재개발연구실*

Thermal shock characteristics of work roll for cold rolling mills

Y.C.Park*, I.B.Kim, J.Y.Jeon, G.S.Cho

Materials development research department, R&D Center, HANJUNG*

Abstract

The troubles such as slipping, pinching and other behaviors in the service of cold rolling mills often induce thermal shock crack on the surface of work roll, and considerably reduce their service lives.

In order to evaluate thermal shock resistibility we use thermal shock tester generating frictional heat caused by a rotating disc contacting with test specimens. Thermal shock produces two heat affected layers below the roll surface, one is rehardened layer and the other is succeeding tempered layer. The maximum depth of crack occurred in a thermal shocked area is a criterion for the thermal shock resistibility

This paper describes on the investigation to the influence of hardness and residual stress.

Key words : Work Roll, Thermal shock crack, Residual stress

1. 서론

현재 냉간 압연기는 생산성 향상을 위해 고압, 고속화하는 경향이 있고 이에따라 압연중에 판재와 롤간의 슬립이나 판파단 등에 의해 압연사고가 증가하는 경향이 있다.(1,2) 냉간공장의 워크롤의 총연삭량 중, 사고연삭량(압연사고에 의해 롤 표면의 손상부 제거를 위한 연삭량)이 60~70%를 차지하고 있다.(3) 롤의 원단위를 나쁘게 하는 사고는 사고유형으로는 열충격 균열 발생 사고와 표면박리 손상사고(Spalling)의 2종류로 대별된다. 또한 열충격 균열의 깊이는 일반적으로 2~3mm를 초과하지 않지만 그 발생 빈도는 높으며, 전체 사고 연삭량의 과반수 이상을 차지하고 있다. 따라서 재료적인 관점에서 워크롤은 이런 가혹한 압연 조건에서 견딜 수 있는 내열충격특성이 요구되고, 열충격에 의해 균열이 발생하더라도 그 균열이 깊지않은 롤 재질 개발에 의해 압연작업을 용이하게 되며 롤 수명도 개선된다.(1,4)

냉간 압연용 워크롤의 경우를 표면에서 15~40mm 깊이의 한정된 경화층에 의해 물 수명이 결정되기 때문에 열충격에 의해 발생한 균열 개수보다도 균열 깊이가 중요하다.

본 연구에서는 당사에서 보유하고 있는 열충격시험기를 이용하여 5%Cr 강의 열충격 특성을 평가하고 열충격 균열의 발생기구에 대해 논하고자 한다.

2. 실험방법

당사에서 생산하고 있는 5%Cr 강을 소정의 열처리조건에 따라 열처리하여 시험편으로 사용하였다. 실제 압연기에서의 열충격 현상을 재현하기 위해 Photo 1 과 같은 열충격시험기를 사용하였으며, 그 개략적인 그림을 Fig. 1 에 나타내었다. 즉, 일정하중으로 회전하는 디스크 위에 시험편을 접촉시켜 디스크 회전에 의한 마찰열을 시험편에 발생시킨 다음 물을 분사하여 급냉하였다. 열충격 시험후의 마찰면을 Photo 2 (a)와 같이 액상침투시험(Penetration Test)으로 균열 위치를 확인하고 Wire Cutter 로 절단하였다. 단면을 Photo 2 (b)와 같이 연마한 후에 표면으로부터의 최대 균열 깊이를 측정하여 열충격 특성을 평가하였다.

열충격 특성에 미치는 잔류응력의 영향은 열간 가공성 재현시험기(Hot deformation simulator, FUZIDEFA, 10ton, 유도가열방식)를 이용하여 Fig. 2 와 같은 사이클로 시험온도까지 급가열한 후, 급냉하였다. 시험편 형상은 Fig. 3 과 같고 시험 전에 소정의 경화 열처리(Quenching, Tempering)를 하였다.

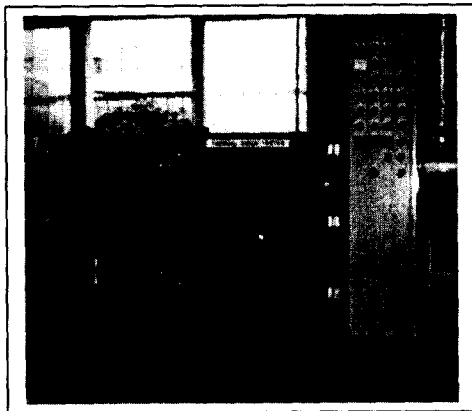


Photo 1 Outside view of thermal shock tester

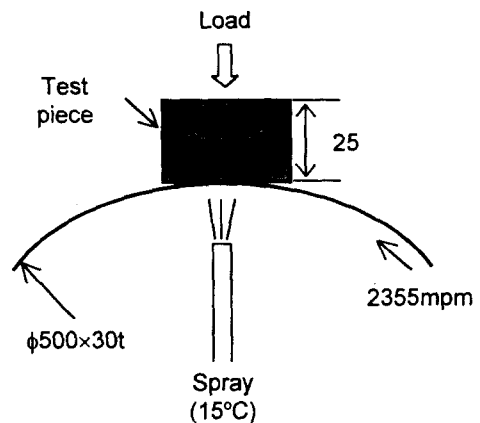


Fig. 1 Schematic view of thermal shock tester

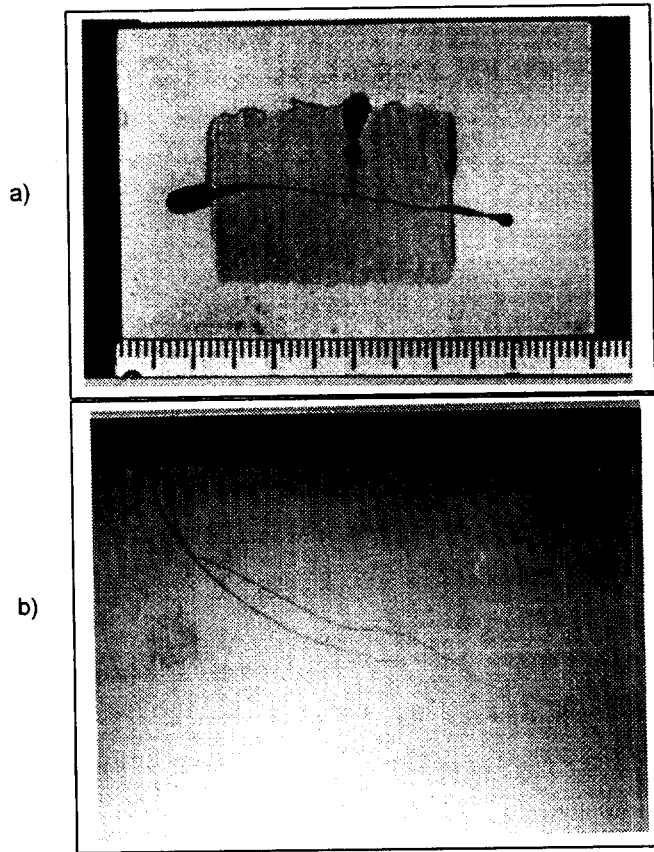


Photo 2 An example of thermal shock crack appeared on specimen tested
a) rubbed surface tested PT b) cross section

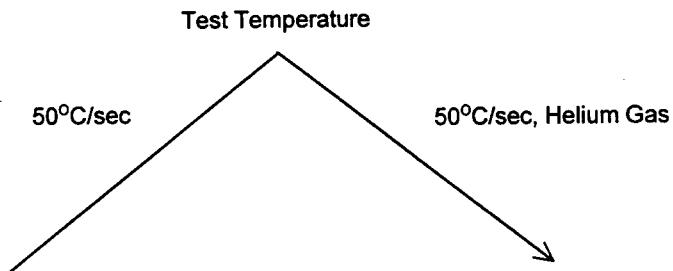


Fig. 2 Simulation cycle in HDS

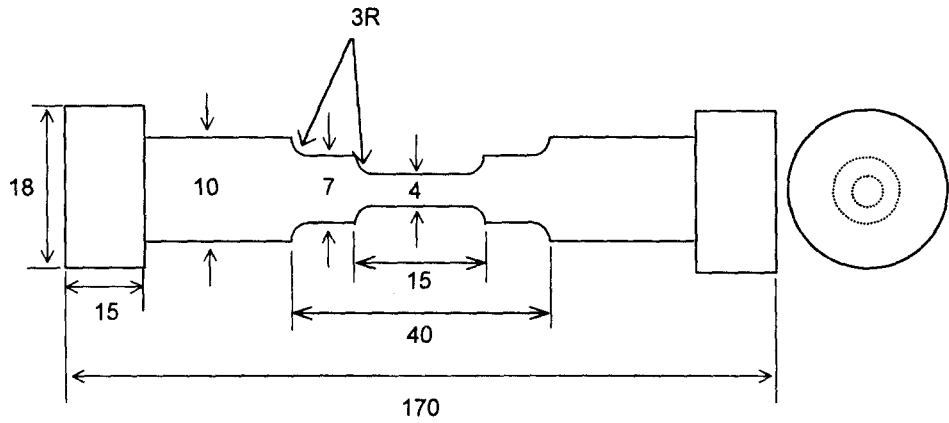


Fig. 3 The size and shape of the specimen in HDS

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 경도에 따른 최대 균열 깊이

Fig. 4는 경도에 따른 최대 균열 깊이 변화를 나타낸 것으로, 경도가 증가함에 따라 최대 균열 깊이는 깊어지는 경향이 있었다. Fig. 5는 템퍼링 온도에 따른 최대 균열 깊이를 나타낸 것으로 템퍼링 온도가 높을수록 균열 깊이는 알아지는 경향으로 기존의 연구와 같은 결과를 나타내었다.(1)

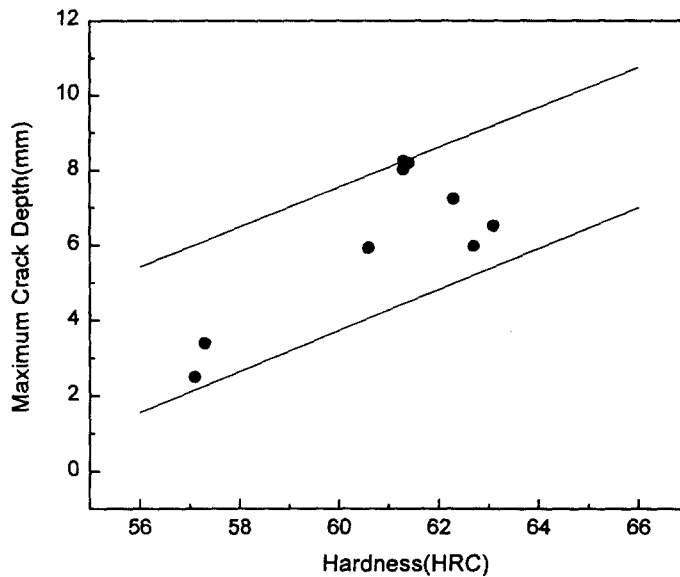


Fig. 4 Influence of hardness on maximum crack depth

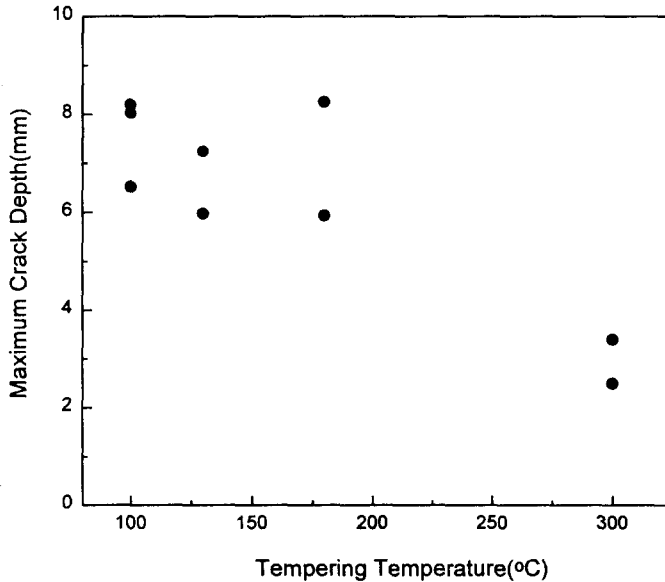


Fig. 5 Influence of tempering temperature on maximum crack depth

3.2 단면 미세 조직 및 경도

Photo 2 (b)는 열충격 시험 후의 시험편의 단면을 연마한 사진으로 균열은 마찰방향에 직각으로 발생하고 디스크의 회전방향으로 균열이 진전되었다. Photo 3, 4는 2% Nital 로 에칭시킨 후의 미세 조직 사진이다. Photo 3 에서와 같이 표면에서 재경화층이 관찰되며, 재경화층 직하에서는 템퍼링층이 관찰되었다. Fig. 6 은 표면에서부터의 깊이별 비커스 경도 변화를 나타낸 것으로 재경화층에는 Hv 850 정도이고 템퍼링층에서는 기지의 경도보다 낮게 나타났다. 이는 시험편의 일정 깊이까지는 A_{c1} 변태점 이상으로 가열된 후 급냉으로 재경화되고, 그 주위는 A_{c1} 변태점 이하의 온도에서 템퍼링되어 경도가 낮게 나타난 것이다.

또한 시험편의 경도가 높을수록 열변질층(재경화층과 템퍼링층의 합)이 깊어지고, 열충격 균열이 깊어진다. 또한 열변질층의 깊이가 열충격 균열의 깊이보다 더 깊게 나타났다.

Photo 4 는 열충격 균열의 전파 양상을 관찰한 것으로 열충격 균열은 결정입계를 따라 전파되었다.

3.3 열충격 특성에 미치는 잔류응력의 영향

실제 롤 사고의 경우에 사고 정도에 따라 차이가 있지만 열영향에 의해 표면이 변태점 이상까지 가열되어 재경화층이 생기고 재경화층의 직하는 변태점 아래까지 가열된다.

열충격을 받은 롤 표면은 주위에서 완전히 구속된 상태이므로 열팽창과 상변태에 의해 변형을 받게된다. 일반적으로 냉간압연용 워크롤은 표면에 압축잔류응력을 가지고 있으며, 압축잔류응력

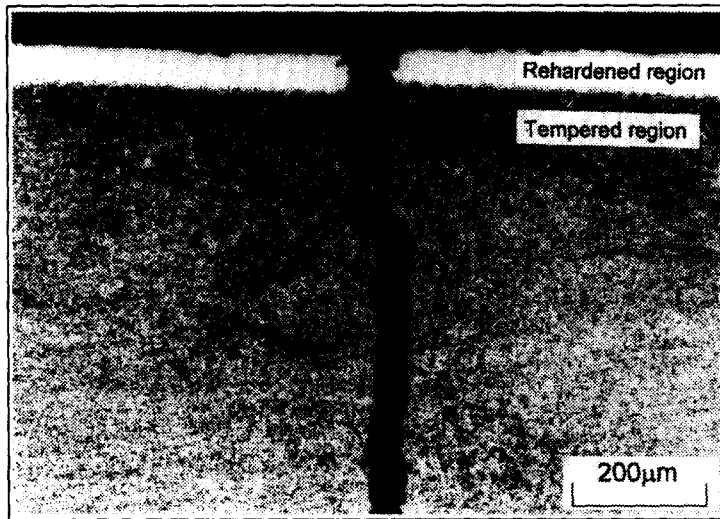


Photo 3 Optical micrograph of crack induced thermal shock

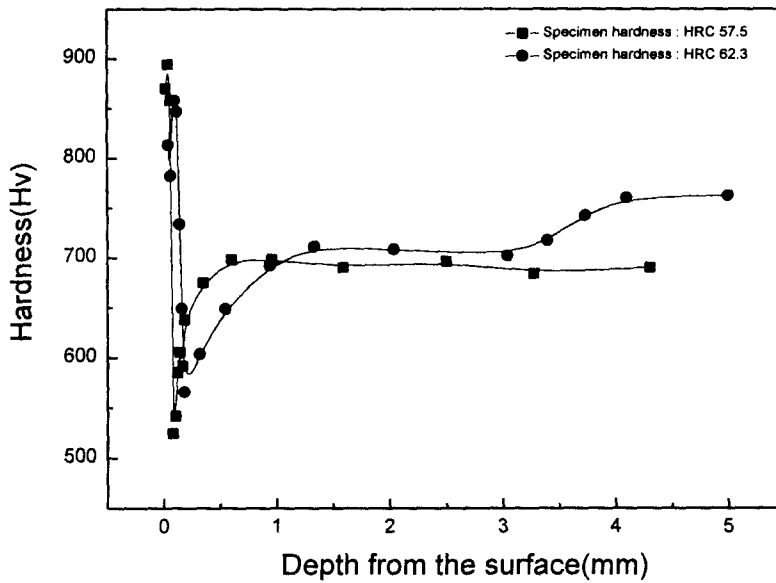


Fig. 6 Hardness distribution along the depth of cross section

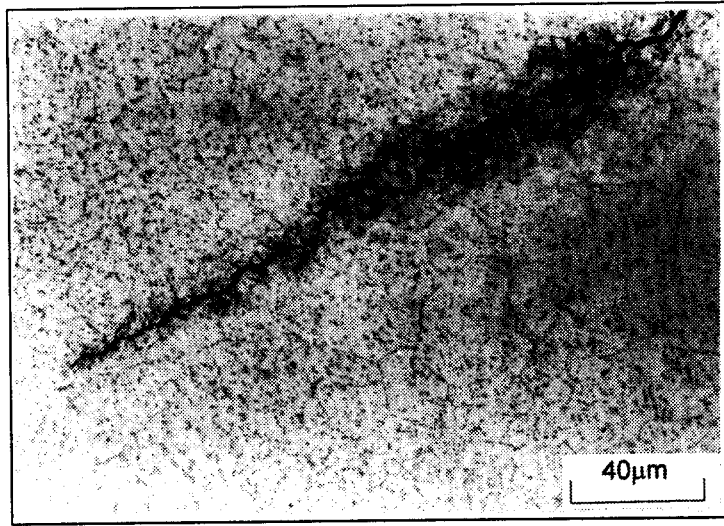


Photo 4 The appearance of crack propagation induced thermal shock

은 $-900\text{Mpa} \sim -500\text{Mpa}$ 범위인 것으로 보고된다.(3) 당사에서 생산하고 있는 워크롤은 표면 잔류응력이 $-800\text{Mpa} \sim -750\text{Mpa}$ 이다. 이러한 압축잔류응력이 열충격 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 시험편의 축방향 변위를 구속한 후, $-800\text{Mpa} \sim 200\text{Mpa}$ 범위의 예비 압축응력을 시험편에 부가한 상태에서 급가열, 급냉각으로 인하여 발생하는 응력을 측정하였다.

Fig. 7 에서 보는 바와 같이 가열온도가 증가함에 따라 열팽창에 의해 압축응력이 증가하고, 300°C 이상에서는 재료의 고온강도가상으로 압축응력이 작용하기 때문에 소성변형이 발생하므로 압축응력이 감소한다. 변태점 이상으로 가열한 후, 즉 1000°C 이상까지 가열한 후 냉각 시에는 인장응력이 온도 감소와 함께 증가하지만 M_s 점 이하가 되면 오스테나이트의 마르텐사이트 변태로 인한 부피 팽창에 의해 인장응력 값이 감소하게 된다. 변태점 부근인 800°C 까지 가열한 경우는 마르텐사이트 변태를 일으키지 않으므로 온도 감소와 함께 인장응력이 계속적으로 증가한다.

예비 압축응력이 -200Mpa 와 -800Mpa 의 두 경우를 비교하면, 예비 압축응력이 감소함에 따라 압축응력의 피크가 고온쪽으로 이동한다. 이는 예비 압축응력과 열팽창에 의한 응력의 합이 예비 압축응력이 적은 경우에 적기 때문에 상대적으로 압축강도가 낮은 고온에서 피크를 보이는 것으로서, 두 경우 모두 800°C 이상 가열 시에는 잔류응력의 영향이 소실되었다.

실제의 열충격 현상은 압연유에 의해 냉각되기 때문에 본 실험에서 설정한 냉각속도보다 더 클 것이다. 냉각속도가 빠를수록 냉각 시에 발생하는 인장응력은 더 크게 발생하고 재료의 인장강도 보다 크게 되면 열충격 균열이 발생되는 것이다.

800°C 까지 가열 후 냉각한 경우에 최대 인장응력을 나타낸다. 즉, 열충격 균열은 템퍼링층에서 발생할 가능성이 크며, 이는 템퍼링층에서 열충격 균열이 발생되었다는 보고와 일치한다.(2,3)

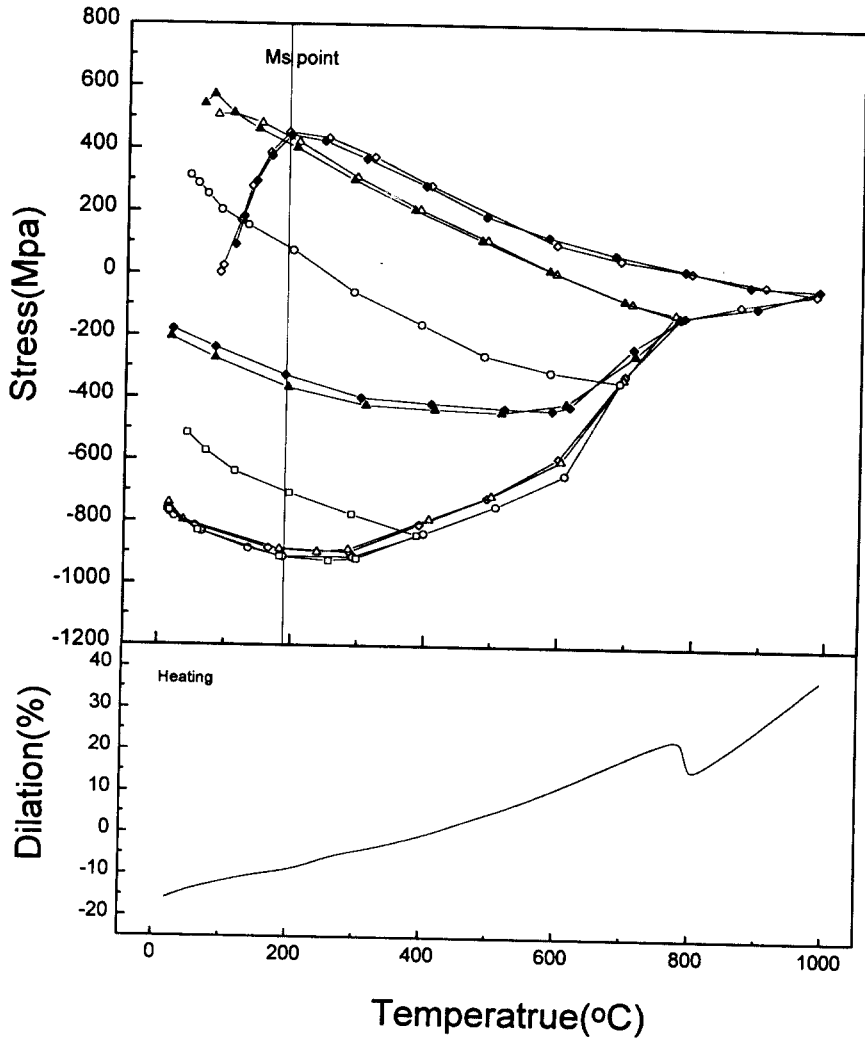


Fig. 7 Influence of residual stress on stress response in constrained specimen on rapid heating and cooling test

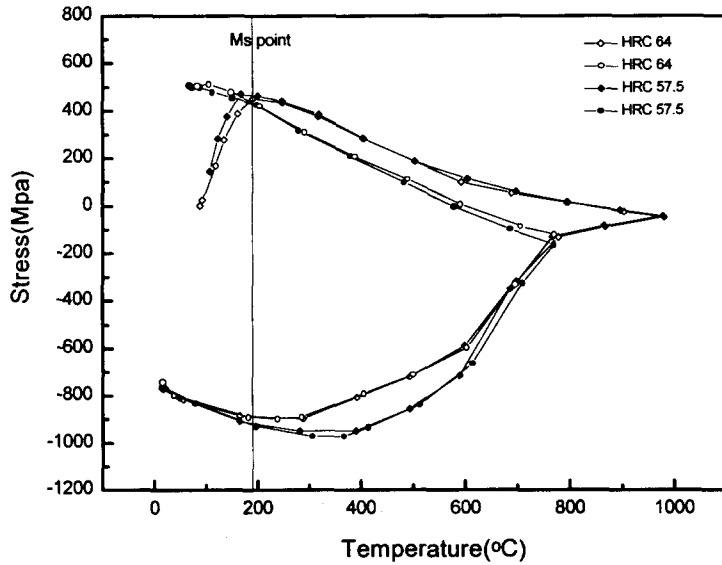


Fig. 8 Influence of hardness on stress response in constrained specimen on rapid heating and cooling test

Fig. 8 은 시험편에 예비 압축응력 -800Mpa 을 부가한 후 급열, 급냉시켜 이때 얻어지는 응력값을 시험편 경도에 따라 측정한 것이다. 시험편의 경도가 낮을수록 가열에 따른 압축응력 피크가 고온쪽으로 이동한다. 그러나 냉각시의 응력변화는 없었다. 즉, 시험편의 경도에 따라 열충격 시에 발생하는 인장응력의 차이는 없었다.

열충격 균열의 깊이는 열충격 시에 발생하는 인장응력의 크기, 열변질층의 두께 그리고 열충격 시에 발생하는 균열의 전파저항성으로 작용하는 인성과 상관관계가 있는 것으로 추정된다. 당사의 5%Cr 강 의 K_{Ic} 는 HRC 63.5 에서 $525\text{Nmm}^{-1.5}$, HRC 57 에서 $668\text{Nmm}^{-1.5}$ 이었다.

4. 결론

- 1) 경도가 증가함에 따라 최대 균열 깊이는 깊어지고, 템퍼링 온도가 높을수록 균열 깊이는 얕아지는 경향이 있었다.
- 2) 열충격부는 표면에서부터 재경화층과 템퍼링층의 2 개의 변질층으로 구성되며, 열충격 균열은 결정입계를 따라 전파되었다.
- 3) 열충격 균열은 인장응력이 크게 걸리는 템퍼링층에서 발생할 가능성이 높다.
- 4) 열충격 균열의 깊이는 열충격 시에 발생하는 인장응력의 크기, 열변질층의 두께 그리고 열충격 시에 발생하는 균열의 전파저항성으로 작용하는 인성과 상관관계가 있는 것으로 추정된다.

참고문헌

1. 阪部喜代三, 鐵と鋼, vol.57, no.5, pp836(1971)
2. 大橋秀三, 鐵と鋼, vol.77, no.5 pp652(1991)
3. Yasuhiro Hayashi, Features : Steel Castings and Forgings, vol.33, no.3, pp21
4. 竹内秀光, 塑性と加工, vol.10, no.101, pp405(1969)