

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
 第7卷第2號 1989年 6月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol.7, No.2, Jun., 1989

高張力鋼 熔接熱影響部の 遲延龜裂에 미치는 介在物の 影響

嚴東錫* · 鄭鎬信** · 益本功***

Effect of Non - metallic Inclusions on Heat Affected Zone Delayed Cracking of High Strength Steels by Hydrogen

D.S.Um*, H.S.Jeong**, I.Masumoto***

Key Words : Non-metallic Inclusions(비금속개재물), HAZ Delayed Cracking(열영향부 지연균열), Sulphur Content(유황함량), Sulphide(황화물), Diffusible hydrogen Content(확산성 수소량), Critical Stress(임계응력)

Abstract

The effect of non-metallic inclusions on the HAZ hydrogen induced cracking was investigated. Quench and tempered high tensile strength steels containing various sulphur contents were employed. The sulphur contents range between 0.007% and 0.040%.

Non-metallic inclusions were mainly MnS type sulphide and Mn-Al-Si type. The sensitivity of HAZ delayed cracking was evaluated by implant testing. Diffusible hydrogen content was varied by controlling the moisture absorbing condition of manual arc welding electrodes. The one was as-received condition, the other was dipping the electrodes in the water for ten minutes. The main results obtained were as follows ;

- 1) The results of implant test showed that critical stress increased with increasing S content up to 0.013%. But steel containing 0.040%S showed lower critical stress than that of 0.013%S. These result suggest that there will be optimum S content to prevent HAZ delayed cracking of high strength steels.
- 2) Under the lower D.H.C. level, critical stress was increased with rolling reduction, but higher D. H.C. level, effect of rolling reduction was not recognized.

* 정회원, 부산대학교 공과대학

** 정회원,名古屋大學 大學院(現 산업과학기술 연구소)

*** 정회원,名古屋大學 名譽教授

1. 서 론

제강기술의 발전과 더불어 최근의 고장력강은 산화물 및 황화물과 같은 비금속 개재물의 양이 매우 적어 청정도가 높아지고 있다. 특히 H₂S 환경하에서의 水素誘起龜裂이나 용접부의 라멜라테어의 방지 및 강재의 인성과 연성을 향상시키기 위하여 유황의 함유량을 더욱 감소시키는 추세에 있다.

그러나 고장력강의 황화물을 저감시킨 淸淨鋼의 용접 열영향부(HAZ)는 수소에 의한 지연 균열 감수성이 커진다는 사실이 Smith¹⁾ 및 Hewitt²⁾ 등에 의하여 보고된 이래 개재물의 양과 저온 균열 감수성과의 관계에 대하여 많은 연구가 수행되었으나 개재물의 양이 많아질 수록 저온 균열 감수성이 낮아진다는 설과 그 반대의 설이 있어 아직 정설이 없는 실정이다^{3~12)}.

Hart⁵⁾는 최근에 발표된 HAZ의 저온 균열에 미치는 개재물의 영향에 관한 문헌을 조사하여 그 중에서 80% 정도는 모재의 유황 함유량이 낮을수록 HAZ의 저온 균열 감수성이 낮아지는 결과를 얻고 있다고 보고하였다.

이와 같이 고장력강 HAZ의 수소에 의한 저온 균열에 미치는 非金屬 介在物의 영향에 대해서는 아직 不明한 점이 남아있다.

본 논문에서는 고장력강 용접시의 저온 균열에 미치는 황화물계 개재물의 양과 형상의 영향을 검토하기 위하여 유황 함유량과 壓下率을 변화시킨 3종의 고장력강에 대한 Implant 시험을 통하여 HAZ의 저온 균열 감수성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1. 供試鋼

인장 강도 75kgf/mm²급의 고장력강판 NS63C를 고주파 용해로를 사용하여 Ar 가스 분위기하에서 再熔解하였으며, 유황의 함유량 만을 변화시킨 3종의 공시강을 용해 제조하였다. 용해 작업시, 탈산 원소로는 순도 99.8%의 전해 망간과 순도 98%의 금속 규소를 사용하였다. 또 유황의 첨가에는 유황 함유량 27%의 일급 화학약품인 황화

철을 사용하였다.

1회의 용해량은 3kg으로 강괴는 1200℃에서 10시간 균질화 열처리하였다. 그 후 강괴를 2등분하여 주조 상태로 개재물의 형상 변화가 없는 주조재와 950℃에서 壓下率 50% 및 75%로 압연하여 개재물의 형상을 변화시킨 압연재를 실험에 사용하였다.

시험재는 압연 종료후 압연재 및 주조재를 모두 950℃에서 35분간 보지한 후, 0℃의 수중에 급냉시켰다. 그 후 650℃에서 100분간 보지하여 tempering하였다.

2.2. Implant 시험편

열처리후, 주조재와 압연재를 Fig.1과 같이 NS63C 강판에 전자 비음 용접하여 기계 가공에 의하여 Fig.2와 같은 형상과 치수의 implant 시험편으로 하였다.

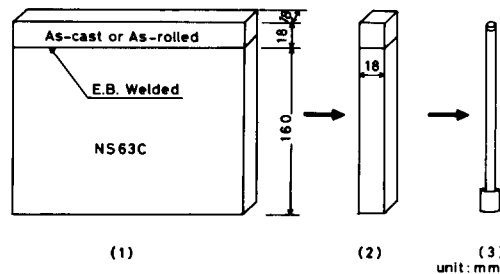


Fig.1 Procedure for preparing implant test specimen

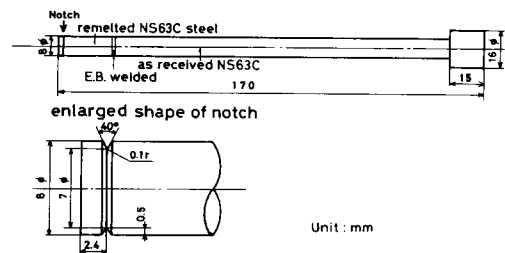


Fig.2 Size and shape of implant test specimen

Fig 3에는 압연한 강판의 각 단면의 정의와 각 단면에 있어서의 개재물의 형상을 모식적으로 나타내고 있다.

implant 시험편은 채취 방법에 따라 하중 작용

방향에 대한 개재물의 형상이 달라진다. 본 실험에서는 implant 시험편의 길이 방향이 YZ면에 수직이 되도록 시험편을 채취하였다.

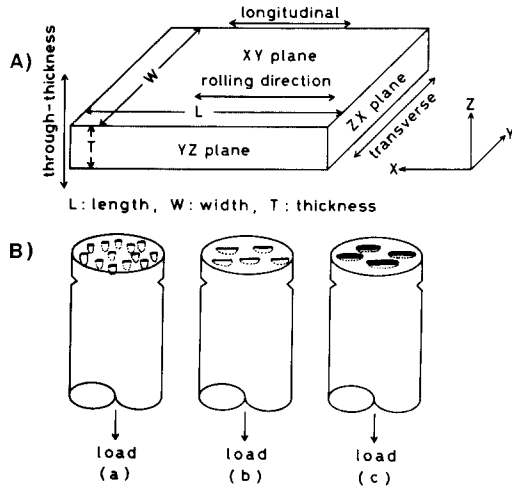


Fig.3 A) Rolled plane orientation identification
 B) Inclusion shape in relation to specimen orientation
 a) on XY-plane b) on ZX-plane c) on YZ-plane

2.3. Implant 시험 방법

implant 시험시의 母板은 가로, 세로 및 두께가 각각 200, 70 및 26mm인 母板의 중앙부에 직경 8mm의 구멍을 뚫어 이 구멍속에 implant 시험편을 삽입하여 시험편의 상부와 母板의 상부를 동일면이 되도록 한 후, 시험편 상부를 가로질러 용접길이 약 70mm의 1 pass 용접하였다.

implant 시험편의 notch 선단부가 약 150℃로 냉각된 후 시험편에 일정 하중을 가하여 파단되기까지의 시간을 측정하였으며 負荷後 1000분까지 파단이 일어나지 않는 최대 응력을 臨界應力으로 하였다.

용접 조건은 용접 전류 및 전압을 각각 175A, 24V로, 용접 속도는 분당 15cm로 하였다. 용접 조건은 시험편의 notch 선단부가 HAZ의 粗粒域에 위치하도록 예비 실험에 의하여 설정하였다.

또 용접 금속중의 확산성 수소량을 조절하기 위하여 용접봉을 수납 상태로 용접에 사용하는 방법과 水中에 10분간 浸漬한 후 즉시 용접하는 2가지

방법을 사용하였다.

2.4. 淸淨度の 測定

3종의 供試鋼의 淸淨度を JIS의 淸淨度測定法 (JIS G 0555)에 의하여 열처리 종료후 각 강재의 YZ면을 檢境面으로하여 광학 현미경으로 측정하였다.

측정은 縱橫 각각 20개의 격자선을 갖는 접안렌즈를 써서 被檢面을 무작위 50 시야 검경하여 개재물에 의해 점유되는 면적 백분율을 다음 식에 의하여 산출하여, 각 강재의 청정도(d)를 구하였다.

$$d = \frac{n}{p \times f} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서 d : 청정도 (%)
- n : f개의 視野에 있어서 개재물에 의하여 점유되는 격자 중심의 수
- p : 시야내의 접안렌즈상의 총격자점 수
- f : 관찰 시야 수

2.5. 용접부의 확산성 수소량 측정

implant 시험에 사용한 저주소계 용접봉의 흡습량을 변화시켜 용접 금속의 확산성 수소량을 JIS Z3113에 의하여 측정하였다.

확산성 수소량의 측정은 용접 종료 5초후에 시험편을 얼음물 중에 급냉시켜 슬라그를 제거하고, 용접 종료후 1분 이내에 약 45℃의 글리세린 浴槽내의 수소 포집기 안에 넣었다. 그 후 48시간 경과하여 수소량을 측정하였으며 포집 수소량은 0℃, 1 기압의 양으로 환산하여 용접 금속 100g 당의 수치로 하여 용접 금속의 확산성 수소량으로 하였다. 그리고 동일 조건에서 4회 측정하여 평균값을 구하였다.

2.6. 용접봉 피복제의 흡습량 측정

각각의 흡습 및 건조 조건하에서의 저주소계 용접봉의 흡습량을 측정하였다. 흡습량 측정 수순은 다음과 같다.

- (1) 소정의 처리를 한 용접봉의 중량을 측정한다.
- (2) 350℃에서 3시간 동안 용접봉을 건조하여 중량을 측정한다.

(3) 350°C에서 3시간 건조한 용접봉의 피복제를 떼어내어 피복제의 중량을 측정한다. 흡습량은 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\text{흡습량} = \frac{(1)의\ 중량 - (2)의\ 중량}{(3)의\ 중량} \times 100(\%)$$

.....(2)

1종류의 처리 조건당 4개의 용접봉에 대한 평균치를 취하여 흡습량으로 하였다. Table 1 및 Fig. 4에 용접봉의 흡습량과 확산성 수소량과의 관계를 나타낸다. 同表 및 同圖와 같이 용접봉의 흡습량이 많아질수록 확산성 수소량이 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타낸다.

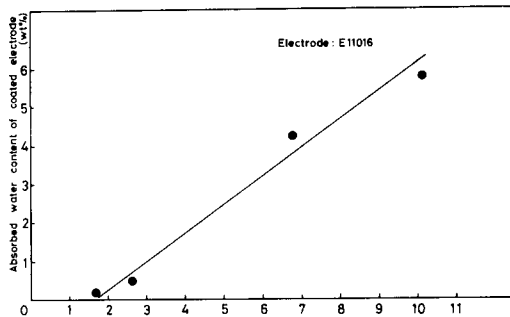


Fig.4 Relation between diffusible hydrogen content and absorbed water content of coated electrode

2.7. 열영향부의 최고 경도 측정

수소에 의한 고장력강 HAZ의 저온 균열 감수성은 탄소 당량 C_{eq} , 균열 감수성 조성 P_{cm} 및 HAZ의 경도 등에 지배된다. 또 최근에는 고장력강의 유향 함유량 변화에 의하여 담금질 경화능에도 차가 생긴다는 보고^{3~4)}도 있다. 따라서

implant 시험에서 파단되지않은 시험편의 HAZ 최고 경도를 측정하였다. 경도 측정은 빅커스 경도기 하중 10kg으로 HAZ를 약 50 μ m 간격으로 12개소 이상 측정하여 그 최고치를 최고 경도로 하였다.

2.8. 개재물의 형상비 측정

열처리 종료후 각 강재의 YZ면을 被檢面으로하여 개재물의 형상비를 광학 현미경에 의해 측정하였다. 측정 방법은 개재물을 사진 촬영하여 단축과 장축의 비를 구하여 형상비로 하였다.

각 강재의 被檢面은 각 60視野이었으며, 개재물의 장축 및 단축의 크기는 확대경을 써서 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1. 供試鋼의 淸淨度 및 介在物의 分析

Table 2에 고주파 용해로를 써서 용해 제조한 供試鋼의 화학 조성을 나타낸다. 3종의 供試鋼의 탄소 함량은 각각 0.07%, 0.07% 및 0.09%로 供試鋼 3Y의 탄소 함량이 약간 높은 편이다. 그러나 다른 원소의 함유량 차이는 작고 C_{eq} 및 P_{cm} 값은 供試鋼 1Y, 2Y 및 3Y에 있어서 각각 0.41, 0.43, 0.44와 0.19, 0.20, 0.22로 거의 차이가 없다.

3종의 供試鋼의 S 함량은 각각 0.007, 0.013, 및 0.040%로 되어있다. 산소 함량은 3鋼鍾 모두 비슷한 수준이었다.

S 함량과 청정도와와의 관계를 Fig.5에 나타낸다. 청정도와 S 함량 사이에는 거의 직선적인 관계가 존재한다. 따라서 S 함량의 증가는 황화물

Table 1 Relation between electrode treatment, absorbed water content of coated electrode and diffusible hydrogen content determined by glycerin procedure

Electrode treatment	Absorbed water content of coated electrode(wt%)	Diffusible hydrogen content (ml/100g)
Dipped in water for 10 min.	5.8	10.2
Dipped in water for 10 min. then baked 100°C for 3 min.	4.2	6.8
Dipped in water for 10 min. then baked 100°C 30 min.	0.5	2.6
As-received (Stored in ambient atmosphere)	0.2	1.7

Table 2 Chemical compositions of steels

Steels	Elements, wt.%													
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	O	N	C _{eq}	P _{cm}
NS63C	0.12	0.28	0.55	0.012	0.005	0.07	2.89	0.75	0.40					
1Y	0.07	0.18	0.41	0.008	0.007	0.06	2.48	0.54	0.38	0.003	0.017	0.009	0.41	0.19
2Y	0.07	0.28	0.66	0.010	0.013	0.07	2.46	0.44	0.38	0.003	0.018	0.009	0.43	0.20
3Y	0.09	0.44	0.52	0.012	0.040	0.06	2.45	0.50	0.37	0.004	0.016	0.010	0.44	0.22

*C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14

P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/15 + 5B

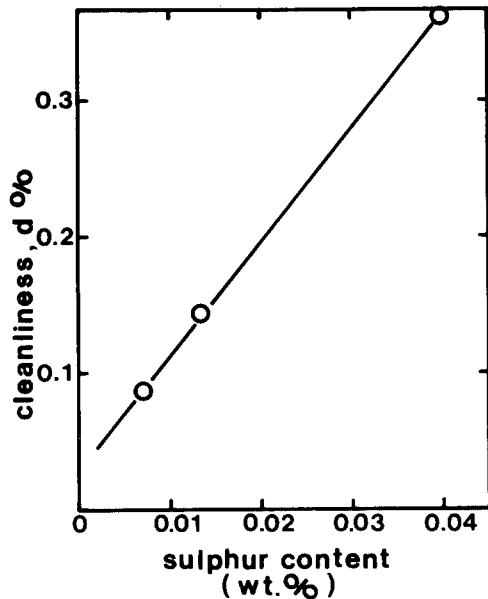
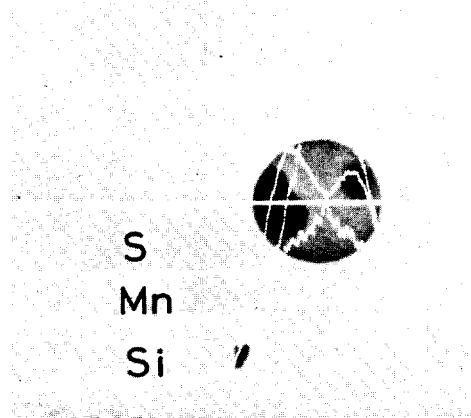


Fig.5 Relation between sulphur content and steel cleanliness

계 개재물 양의 증가를 의미한다.

개재물의 分析에는 EPMA 및 EDX를 사용하여 개재물들을 관찰한 결과, MnS계, SiO₂계, Al-Mn-Si계의 3종류가 관찰되었다. Fig. 6에 EPMA에 의한 공시강 1Y 주조재중의 MnS系 개재물의 형태를 나타낸다.

각 供試鋼의 개재물의 종류 및 비율은 S 함량 0.007%인 1Y의 경우 실리카가 약 50%, Al-Mn 실리케이트系 25%, MnS系 약 25% 정도이었다. 2Y의 경우에는 실리카系 30%, Al-Mn 실리케이트系 약 30%, MnS系가 약 40%이었다. 즉, 供試鋼의 S 함량 증가와 더불어 실리카의 비율이 감소하고 MnS系의 비율이 커지는 경향을 나타낸다.



a) sulphide inclusion with nucleus of silicates



b) MnS inclusion

Fig.6 Back scatter image of inclusions of cast steel 1Y(0.007%S)

3.2. 介在物의 形狀比

Fig. 7에는 壓下率과 形狀比와의 관계를 나타낸

다. 壓下率 50%인 경우에는 S 함량에 따른 형상비의 차가 그다지 크지 않지만 壓下率 75%인 경우, 供試鋼 1Y와 2Y에 비해 3Y의 형상비가 2배 정도 커져있는 것을 알 수 있다. 따라서 供試鋼 3Y의 경우, MnS의 양이 많기 때문에 황화물계 개재물 양의 영향이 나타나는 것으로 사료된다. MnS系 개재물은 산화물보다 변형되기 쉽고, Wood¹⁸⁾에 의하면 MnS系 개재물은 冷間 및 熱間加工에 의하여 소성 변형하여 matrix인 鐵과 MnS系 개재물과의 界面의 면적이 커진다고 보고하고 있다.

3.3. HAZ의 최고 경도와 조직

Table 3에 implant 시험편의 HAZ 최고 경도

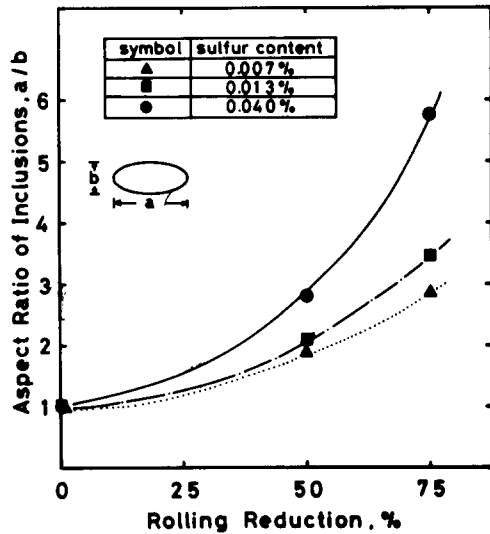


Fig.7 Change of aspect ratio by rolling condition

Table 3 Maximum hardness in heat affected zone

Steel	Sulphur content %	r.r. %	Max. hardness Hv
1Y	0.007	0	350
		50	355
		75	358
2Y	0.013	0	351
		50	356
		75	353
3Y	0.040	0	352
		50	355
		75	357

* r. r. : rolling reduction

를 나타낸다. S 함량이 서로 다른 3종의 供試鋼의 최고 정도에는 거의 차이가 없다. 또 주조재와 압연재 사이에도 최고 정도값에는 차이가 거의 없었다.

HAZ의 현미경 조직에 있어서도 3강재의 S 함량이 다름에도 불구하고 조직의 차이는 없었으며 베이나이트와 페라이트가 조직의 대부분을 차지하며 마르텐사이트는 거의 관찰되지 않았다.

3.4. Implant 시험 결과

Fig. 8에 확산성 수소량 1.7ml/100g 및 10.2ml/100g인 경우에 대하여 S 함량 0.007%인 공시강 1Y의 시험 결과를 나타낸다. 확산성 수소량 1.7 ml/100g인 경우, 주조재의 파단 시간은 압연재의 그것보다 짧고, 임계 응력도 약 10kgf/mm² 낮다. 압연재의 경우, 壓下率 50%와 75% 사이의 임계 응력의 차는 매우 작지만 후자가 전자보다 약 1 kgf/mm² 높다.

확산성 수소량 10.2ml/100g의 경우에도 주조재의 파단 시간은 압연재보다 짧고 임계 응력도 1.5 kgf/mm² 낮다. 또 확산성 수소량이 1.7ml/100g의 경우와 같이 압연재의 임계 응력은 압하율에 따른 변화가 적지만 압하율 75%의 임계 응력이 압하율 50%의 경우보다 약 2kgf/mm² 높다.

Fig. 9에 S 함량 0.013%인 공시강 2Y의 시험 결과를 나타낸다.

확산성 수소량 1.7ml/100g의 경우, 주조재의 파단 시간이 압연재의 파단 시간보다 짧고, 임계 응력도 압연재보다 4~7kgf/mm² 정도 낮다. 압연재에 있어서는 Fig. 8과 같이 압하율 75%인 시험재의 임계 응력이 50%인 시험재보다 임계 응력이 4kgf/mm² 높다.

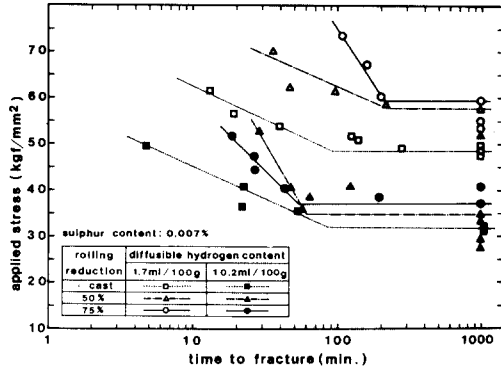


Fig.8 Implant test results of steel 1Y(0.007%S)

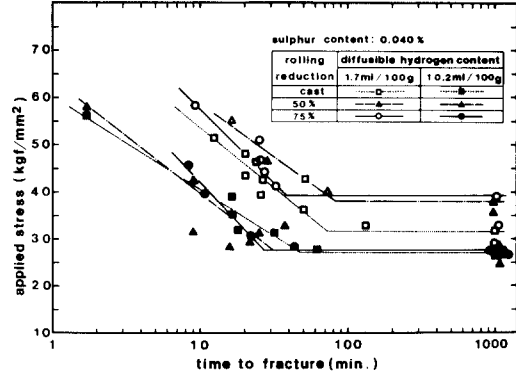


Fig.10 Implant test results of steel 3Y(0.040%S)

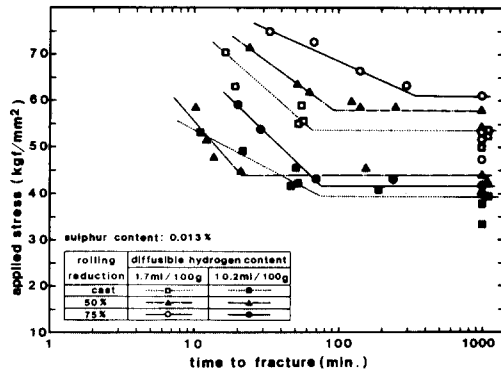


Fig.9 Implant test results of steel 2Y(0.013%S)

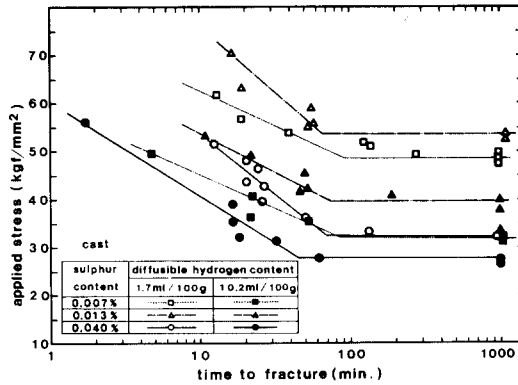


Fig.11 Effect of sulphur content on cast steel implant test results

확산성 수소량 10.2ml/100g인 경우에도 주조재의 임계 응력은 압연재에 비해 약 4kgf/mm² 낮고, 압연재의 임계 응력의 압하율에 의한 차이는 매우 작지만, Fig.8, 10의 경우와 달리 압하율 50% 쪽이 75%보다 약 1kgf/mm² 높으나 이것은 오차 범위로 사료된다.

Fig. 10에 S 함량 0.04%인 공시강 3Y의 시험 결과를 나타낸다.

확산성 수소량 1.7ml/100g인 경우, 주조재의 임계 응력은 압연재보다 약 7kgf/mm² 낮다. 압연재의 임계 응력은 압하율에 따른 차이가 거의 없다.

확산성 수소량 10.2ml/100g인 경우, 주조재와 압연재 사이의 임계 응력 차이는 거의 없다.

Fig. 11에 S 함량 0.007%, 0.013% 및 0.040%인 공시강 주조재의 시험 결과를 종합하여 나타내었다.

확산성 수소량 1.7ml/100g인 경우, S 함량 0.

040%의 임계 응력은 S 함량 0.013%인 시험재에 비해 23kgf/mm²나 낮다. 또 S 함량 0.013%와 0.007%인 경우에는 후자가 전자보다 약 6kgf/mm² 낮다.

확산성 수소량 10.2ml/100g인 경우에도 1.7ml/100g인 경우와 비슷한 경향을 나타내고, 0.040% S의 임계 응력이 가장 낮고 0.013% S의 임계 응력이 가장 높아 그 차이는 13kgf/mm²이다. 따라서 주조재(응고 조직)인 경우에는 S 함량이 0.040% 정도 함유되면 수소에 의한 저온 균열 감수성이 커질 가능성이 있다.

Fig. 12와 Fig. 13에는 압하율 50% 및 75%인 경우의 시험 결과를 각각 종합하여 나타내었다. 이 경우에 있어서도 上述의 주조재의 결과와 마찬가지로 유황 함량 0.040%의 임계 응력이 가장 낮다.

유황 함량 0.007% 및 0.013%의 임계 응력의

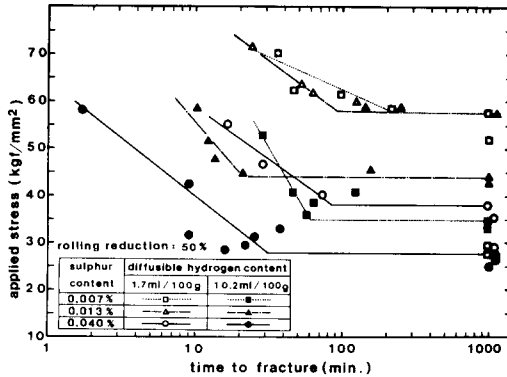


Fig.12 Effect of sulphur content on 50% rolled steel implant test results

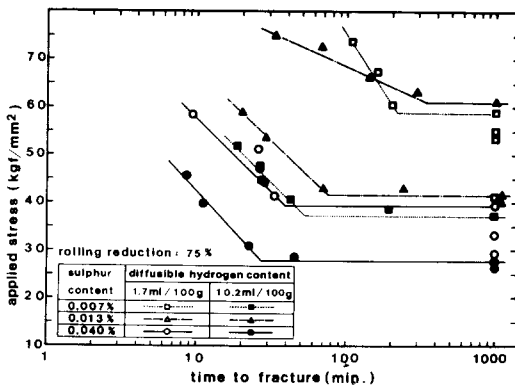


Fig.13 Effect of sulphur content on 75% rolled steel implant test results

차이는 확산성 수소량 1.7ml/100g인 경우에는 매우 작지만, 확산성 수소량이 10.2ml/100g이면 주조재의 경우와 같이 0.013%S의 임계 응력이 가장 높고, 0.040%S의 경우에 비해 17kgf/mm²(압

하율 50%)~15kgf/mm²(압하율 75%)정도의 차이가 있다. 또 0.007%S의 경우와 0.013%S의 임계 응력은 0.007%S가 9kgf/mm²(압하율 50%)~7kgf/mm²(압하율 75%)정도 높다.

이상의 implant 시험 결과를 종합하면 Table 4 및 Fig.14와 같이 확산성 수소량의 다소에 관계없이 S 함량이 0.040%로 높아지면 저온 균열(지연 균열)이 발생되기 쉬움을 알 수 있다.

4. 고 찰

Table 4 및 Fig.14에 나타난 바와 같이 확산성 수소량 1.7ml/100g과 10.2ml/100g의 어느 경우에 있어서도 S 함량이 0.007%로부터 0.013%로 높아지면 임계 응력이 상승되지만, S 함량이 0.040%로 높아지면 임계 응력은 현저하게 저하된다. 또 주조재는 압연재보다 임계 응력이 낮은 경향을 갖는다.

본 실험에 사용한 3종의 공시강의 산소량은 Table 2에 나타난 바와 같이 0.016~0.018%로 거의 일정하므로 지연 균열에 미치는 산화물류 개재물의 영향은 3강종 모두에 대해 동일하다고 할 수 있다. 따라서 본 실험의 결과에는 S 함량의 상이함에 따른 황화물류 개재물의 영향만이 나타난다고 할 수 있다.

최근, Hart⁵⁾는 HAZ의 수소에 의한 지연 균열, 경화, 변태 및 수소 확산에 미치는 S 함량의 영향에 대하여 18 문헌상의 21강종에 의한 실험 결과를 정리하고 있다. 이 결과를 보면 16가지 결과는 S 함량의 감소에 의한 균열 발생 가능성의 증대를 인정하고 있으나, 5가지 결과에서는 인정

Table 4 Summarization of implant test results

Steels	Sulphur content (wt. %)	Critical stress, kg/mm ²	
		D. H. C 1.7ml/100g	D. H. C 10.2ml/100g
cast	0.007	48.1	33.1
	0.013	54.1	39.6
	0.040	31.8	26.9
rolling reduction 50%	0.007	57.7	34.6
	0.013	58.0	44.2
	0.040	38.7	27.2
rolling reduction 75%	0.007	58.5	36.6
	0.013	61.1	41.6
	0.040	39.3	27.9

*D.H.C: Diffusible Hydrogen Content

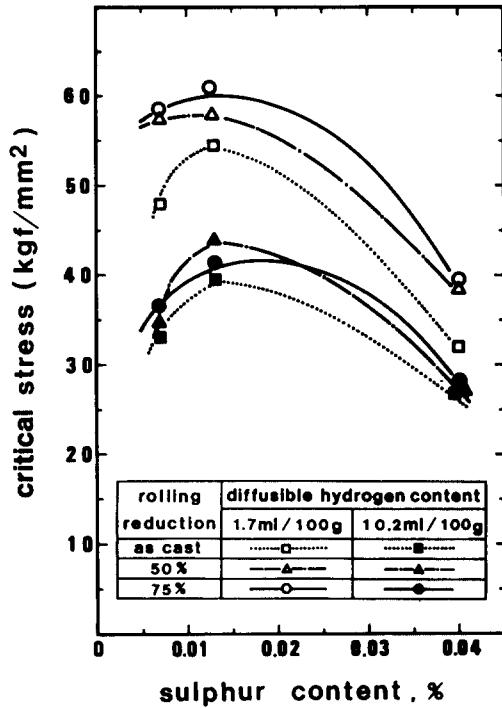


Fig.14 Effect of sulphur content and rolling reduction on critical stress

하지 않고 있다.

또 수소 농도가 높을 경우에는 개재물 양의 증가와 더불어 지연 균열 감수성이 작아지지만, 수소 농도가 낮을 경우에는 개재물의 영향은 명확하지 않다는 보고¹⁰⁾와 더불어 수소 농도 2.7ppm 이하에서는 개재물 양의 증가와 더불어 균열 감수성이 커지고, 5.7ppm이하에서는 개재물 양에 의한 변화는 없다는 보고¹²⁾가 있다. 따라서 개재물의 증가에 따라 수소에 의한 지연 균열이 생기기 쉽다고 단정하기 어려운 것 같다.

본 실험 결과에서는 S 함량과 임계 응력과 사이에 일정한 관계가 없고, S 함량 0.013%일 때 임계 응력값이 최대가 된다. 본 실험에서는 황화물계 개재물만의 영향을 규명하는 것을 목표로 하였으므로 다른 연구 결과와 직접적인 비교를 하기는 곤란하다. 이 결과는 HAZ의 개재물과 수소에 의한 지연 균열과의 관계에 대해서는 개재물의 종류, 양, 금속조직 및 확산성 수소량에 의해서도 변화하므로 개재물의 양의 다소와 지연 균열 발생 임계 응력의 대소를 一義的으로 결정하기 어려울 뿐 아니라 전혀 반대되는 결과도 나타날 수

있음을 시사하는 것으로 생각된다.

microvoid가 수소의 trap site로 작용한다는 보고는 매우 많다^{13~15)}. 따라서 주조재에는 microvoid가 많이 잔류하여 이것이 伸張形 황화물계 개재물과 마찬가지로 수소의 濃化와 균열의 발생 기점으로 작용한다고 생각된다. 즉 개재물 양이 비교적 적고, 형상도 球形이며 균일하게 분포되며 확산성 수소량도 적으면 수소는 개재물 주위에 trap되어 지연 균열 발생 기점이 되는 부분에서의 수소 농도를 저하시킬 수 있다고 생각할 수 있다. 이 경우에는 適量의 개재물이 균열 발생의 임계 응력을 오히려 상승시킬 수도 있다. 이러한 개재물 또는 microvoid가 수소의 trap site로 작용하여 수소에 의한 지연 균열 감수성을 저하시킬 수 있다는 보고도 있다^{12,15)}.

그러나 개재물이 많고 또한 황화물계 개재물과 같이 신장되어 크기도 비교적 큰 경우에는 개재물界面에서의 수소의 濃化가 심한 경우에는 개재물이 수소에 의한 지연 균열의 기점이 될 가능성이 커진다. 특히 수소량이 많을 경우에는 이와 같은 균열 발생 가능성이 훨씬 커지게 될 것이다. 본 실험에 있어서 0.040%S의 경우, 임계 응력이 현저하게 저하된 것은 이러한 사실을 뒷받침하고 있다고 생각된다.

Savage^{16,17)}는 HY80강 HAZ의 지연 균열은 신장된 개재물로부터 발생하며, Ce 등 希土類元素를 첨가하여 MnS를 球狀化시키면 지연 균열 발생 임계 응력이 높아진다고 보고하고 있다.

확산성 수소량이 많고 신장된 개재물도 많은 경우에는 균열 발생 기점이 충분히 존재하므로 주조재에 있어서는 microvoid의 영향이 적어지기 때문에 압연재와 주조재의 임계 응력에는 차가 없어지는 것으로 생각된다. Fig. 10의 확산성 수소량 10.2ml/100g일 때의 S 함량 0.040%의 임계 응력은 이러한 사실을 나타내고 있다.

Fig. 15에 임계 응력에 미치는 압하율의 영향을 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 확산성 수소량 1.7ml/100g인 경우, 임계 응력은 압하율의 상승과 더불어 거의 직선적으로 증가하고 있다. 그러나 확산성 수소량이 10.2ml/100g인 경우, 압하율이 임계 응력에 미치는 영향은 작고, S 함량 0.040%인 경우에는 압하율의 변화에 따른 임계 응력의 변화는 거의 없다.

확산성 수소량이 적으면 압하율의 증가에 의한

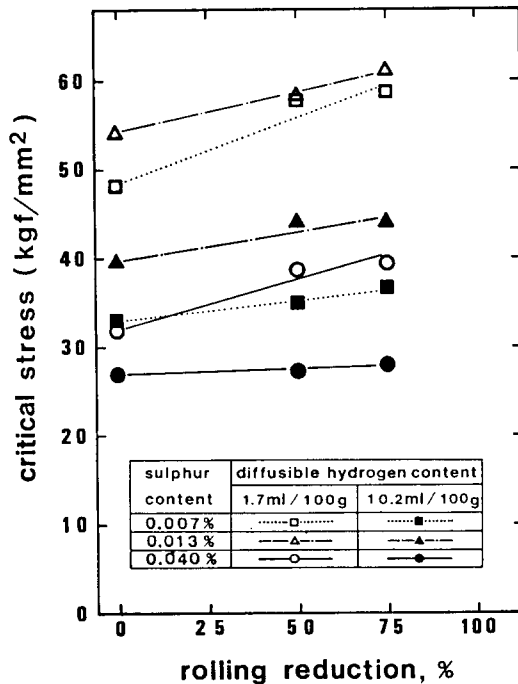


Fig.15 Effect of rolling reduction on critical stress

여 microvoid가 감소되며, microvoid에 수소가 trap되어도 microvoid가 균열 발생 기점이 될 가능성은 적어지고, 오히려 microvoid의 감소 효과로 임계 응력은 높아지지만 확산성 수소량이 많은 경우에는 microvoid 또는 신장된 개재물이 균열의 발생 기점이 될 수 있으므로 그 양의 감소 효과가 소실되는 것으로 생각된다.

또 본 실험에서는 Fig. 8~10에 나타낸 바와 같이 주조재의 임계 응력이 압연재의 그것보다 낮다. Challenger¹⁹⁾도 HY 130강의 주조재 및 압연재의 implant 시험에 의하여 압연재의 임계 응력이 주조재의 그것보다 높다고 하여 본 실험에서와 같은 결과를 얻고 있다.

최근, 청정강은 황화물계 개재물의 감소와 더불어 燒入성이 커지고 HAZ가 경화하므로 지연 균열 감수성이 높아진다는 사실도 보고되어 있다. 그러나 본 실험에서는 Table 3에 나타낸 바와 같이 S 함량과 최고 경도와의 관련은 인정되지 않았다. Hart⁹⁾의 조사에 의해서도 21가지 실험중에서 4가지만이 경도와의 관련을 인정하고 있고 2가지 실험에서는 이 점을 부정하고 있다. 이러한 사항은 앞으로 더욱 자세히 규명하여야 할 문제점이 다.

5. 결 론

S 함량 0.007%, 0.013% 및 0.040%인 3종의 시험재에 대하여 확산성 수소량을 1.7ml/100g 및 10.2ml/100g으로 변화시켜 수소에 의한 고장력강의 지연 균열에 미치는 개재물의 영향을 implant 시험에 의하여 조사하였다. 실험 결과, 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

1. S 함량과 수소에 의한 지연 균열 발생 임계 응력 사이에는 일정한 상과 관계가 없고, 임계 응력이 최대가 되는 적량의 S 함량이 존재한다.
2. 확산성 수소량에 관계없이, 본 실험에서는 S 함량 0.013%에서 임계 응력이 가장 크고 S 함량이 0.007%로 저하되면 임계 응력이 數 kgf/mm² 낮아지며 S 함량이 훨씬 증가하여 0.040%가 되면 15kgf/mm² 이상 저하하였다.
3. 확산성 수소량이 많아지면 S 함량의 多少에 관계없이 임계 응력은 매우 낮아진다.
4. 주조재의 임계 응력은 압연재보다 낮다.
5. 확산성 수소량이 적은 경우에는 압하율이 커질수록 임계 응력이 커지지만 수소량이 많은 경우에는 압하율의 영향은 매우 작다.

참고 문헌

- 1) N. Smith and B.I.Bagnall: The influence of sulphur on heat affected zone cracking of carbon manganese steel welds, Metal Cons. and Brit Weld. Jour. Vol. 1 No. 2(1962), PP. 17-23
- 2) J.Hewitt and J.D.Murray: Effect of sulphur on the production and fabrication of carbon manganese steel forgings, Metal Cons. and Brit Weld. Jour. Vol. 1 No. 2(1962), PP. 24-31
- 3) 新日鉄: 微量元素と清淨度が鋼材の熔接性に及ぼす影響, 第21回NSW委員會資料, 1986, 10
- 4) 新日鉄: 鋼材清淨度の熔接性に及ぼす影響, 第22回NSW委員會資料, 1986, 11
- 5) P.H.M. Hart: The influence of steel cleanliness on HAZ hydrogen cracking: the present position, Welding in the World Vol. 23 No. 9/10(1985), pp. 230-238

- 6) D.Mckeown, P.Judson, R.L.Apps and W.I. Pumphrey : The weldability of low sulphur steels, Metal Cons. Vol. 15(1983), pp. 667-673
- 7) G.Glover, C-J Chong and C.G.Chipperfield : The influence of sulphur content on the weldability of structural steels, Proc. Annu. Conf. of Australian Inst Metals, AUS 35th(1982), pp. 70-73
- 8) 菊田, 荒木, 林, 斎藤 : 高張力鋼の熔接低温割れに及ぼす非金屬介在物の影響について, WM-650-77
- 9) 平井, 皆川, 坪井 : 高張力鋼の熔接割れ感受性に及ぼす非金屬介在物の影響, 熔接學會全國大會予稿集(1980, 10), pp. 244-245
- 10) 菊田, 荒木, 廣瀬, 牧野 : 熔接低温割れに及ぼす非金屬介在物の影響(第1報), 熔接學會論文集, Vol. 3 No. 2(1985), pp. 379-385
- 11) 菊田, 荒木, 廣瀬, 松田 : 熔接低温割れに及ぼす非金屬介在物の影響(第2報), 熔接學會論文集, Vol. 3 No. 2(1985), pp. 385-392
- 12) 秋山, 泉, 寺崎 : 熔接低温割れに及ぼす介在物の影響(第3報) 日本金屬學會誌, Vol. 48 No. 12(1984), pp. 1187-1191
- 13) D.I.Fahlen and D.A.Vaughan : The role of surface stress on hydrogen absorption by 4340 steel, Corrosion Vol. 24 No. 8(1968), pp. 243-246
- 14) A.J.Kumnick and H.H.Johnson : Hydrogen transport through annealed and deformed Armco iron, Metall. Trans. Vol. 5(1974), pp. 1199-1206
- 15) 菊田, 荒木, 廣瀬, 松田 : 熔接低温割れに及ぼす非金屬介在物の影響(第3報), 熔接學會論文集, Vol. 3 No. 3(1985), pp. 490-497
- 16) W.F.Savage, Nippes and Szekers : Hydrogen induced cold cracking in a low alloy steels Weld. Jour. Vol. 55 No. 9(1976), pp. 276s-283s
- 17) W.F.Savage, Nippes and Szekers : Hydrogen induced cracking in HY-80 steel weldments Weld. Jour. Vol. 55 No. 11(1976), pp. 368s-376s
- 18) L.E.Wood and L.H.Van Vlack : Fracture and deformation of sulphide inclusions in steel Trans. of ASM Vol. 56(1963), pp. 770-772
- 19) K.D.Challenger and B.J.Mason : Comparison of hydrogen assisted cracking susceptibility of cast and rolled HY-130 steel plate, Weld Jour. Vol. 63(1984), pp. 39s-46s