

한국 부식 학회지
Journal of the Corrosion Science Society of Korea
Vol.12, No.3, Sept. 1983

<研究論文>

海洋構造用鋼 熔接部の 鹽水腐蝕에 關한 研究

金伎徹*, 李鍾鳳*, 尹勝烈**

*浦項綜合製鐵(株) 技術研究所

**漢陽大學校 工科大學 材料工學科

A Study on the Corrosion Behavior of Welded Structural Steels in 3% NaCl Solution

K. C. Kim*, J. B. Lee* and S. R. Yoon**

*Technical Research Lab., Pohang Iron & Steel Co., Ltd.

**Dep't. of Materials Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

Corrosion behavior of structural steels, such as A 36, SWS 41, SM 50 and SPV 50, were studied in 3% NaCl solution by employing U-bend test, immersion test (including acceleration technique) and electrode potential measurement. In this study, the surface roughness data were introduced together with conventional method to estimate surface change by corrosion. The summarized results are as follows;

1. In the U-bend test, no crack is detected even at welded part.
2. Effect of heat treatment or microstructural variation is considered to play important role in corrosion behavior of welded structural steels.
3. Surface roughness profile and R_{max} value may be helpful to estimate corrosion rate at the beginning of the corrosion process.

1. 서 론

최근 조선공업의 급속한 성장과 해저석유 탐사등 해양 자원의 개발이 활발히 추진됨에 따라 해양 구조용 강재에 대한 관심이 매우 높아졌다. 이러한 대형 구조물을 건설할 때 용접 공정이 차지하는 비중은 재론의 여지가 없겠으나, 용접은 본질적으로 급속가열-급속냉각 과정을 거쳐야 하기 때문에 급속조직의 폭넓은 변화와 이음부의 구속 상태에 따른 응력의 복잡한 분포등을 수반하게 된다¹⁾. 그 결과 용접부의 부식 특성에도 혹은 크게, 혹은 적게 영향을 주고, 더우기 해양 환경과 같이 구조물에 대하여 혹독한 분위기를 나타내는 곳에서는 경우에 따라 심각한 사태를 유발할 수도 있다.

본 연구는 이러한 점에 착안하여 해양 구조용등으로 널리 쓰이는 국산 강재 중에서 몇 종류를 선택, 용접 조건 변화에 따른 용접부의 부식 특성을 U-bend 실험, 장기간 침지 실험, 외부전류에 의한 정전류 가속 실험 및 전극 전위 측정등으로 조사한 것이다. 또한, 본 연구에서는 表面粗度測定에 의한 방법으로 부식도를 평가하는 시험법을 시도 하였는데, 표면조도 측정은 적절히 응용할 경우 간편하고 재현성 있는 부식 시험법의 한 방법으로 활용될 수 있을것 같았다.

2. 실험

2.1 試驗材

시험재료는 국산 厚板材 중에서 용접 구조용 및 해양 구조용으로 널리 쓰이는 인장강도 40kg/mm² 급 강

Table 1. Chemical composition and mechanical properties* of parent metal.

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	V	Mo	Ti	N
steel A	0.181	0.04	0.91	0.017	0.023	0.1					
steel B	0.224	0.05	0.77	0.015	0.008	0.2					
steel C	0.161	0.36	1.40	0.024	0.014	0.2					
steel D	0.123	0.25	1.38	0.017	0.007	0.25	0.23	0.04	0.054	0.015	58ppm

*Mechanical properties of steel A, B, C and D are equivalent to ASTM A 36, KS SWS 41, JIS SM 50 and JIS SPV 50, respectively.

재와 50kg/mm 급 강재를 사용 하였다. 比較材로는 인장강도 60kg/mm 급 고장력 강재를 썼으며 각 강재의 제 특성은 Table 1 과 같다.

2.2 용접 및 시험편 채취

시험재는 submerged arc 용접법으로 용접하고 입열량의 변화를 2kJ/mm, 4kJ/mm, 6kJ/mm, 8kJ/mm 로 주었다. 용접봉과 flux 는 American Welding Society 의 규격 F72-EH14 형으로 통일 하였다. 용접을 완료한 다음 각종 시험편은 Fig. 1 과 같이 용접 상태가 안정된 시험재의 중앙부근에서 절단 하였고, U-bend 시험편, 정전류 가속 시험편 및 전극 전위 측정용 시험편들은 다시 시험재의 두께 방향 1/4 의 위치에서 채취 하였다.

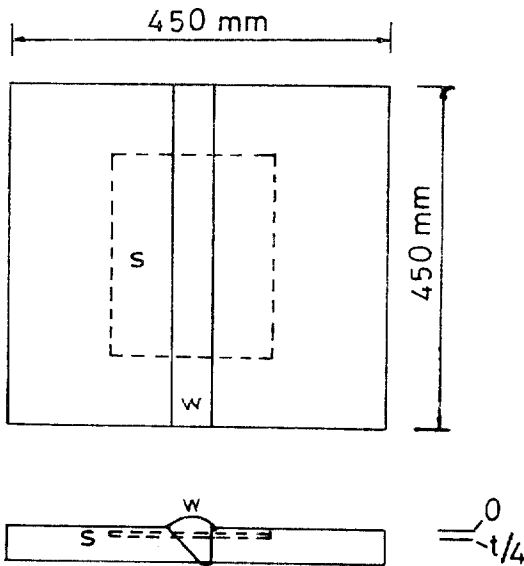


Fig. 1. Test coupon.

- s: specimen cutting
- w: welded part

2.3 실험 방법

시험편의 크기와 실험 방법은 ASTM 규격²⁾과 藤原³⁾

등이 사용한 방법에 의지 실시 하였으며, 용접부 시험편의 경우는 용접부가 시험편의 곡률 선단에 위치 하도록 하였다. 준비된 시험편은 상온에서 3% NaCl 수용액에 넣어 부식시켰다. 실험후의 결과는 stereoscope 와 금속 현미경을 이용하여 부식 상태와 균열 발생 유무를 관찰 하였다.

2.3.2 장기간 침지 실험

100mm^L×60mm^W×20mm^T 로 절단 가공된 시험편을 부식 용액에 장기간 방치한 다음 표면의 부식 상태와 두께 감량등을 표준 시험법^{4,5)}에 따라 조사하였다.

2.3.3 정전류 가속 실험

시험편에 외부로부터 전류를 공급⁶⁾하여 부식 반응을 가속 시키는 실험을 하였다. 사용된 전류 밀도는 여러 차례의 예비실험을 통하여 관찰이 용이한 260μA/cm² 전후로 유지 시켰다. Fig. 2 는 그 실험 장치를 표시한 것이다.

2.3.4 용접 부위별 전극 전위의 측정

鋼種別, 용접 입열량별로 마련된 시험편에 대하여

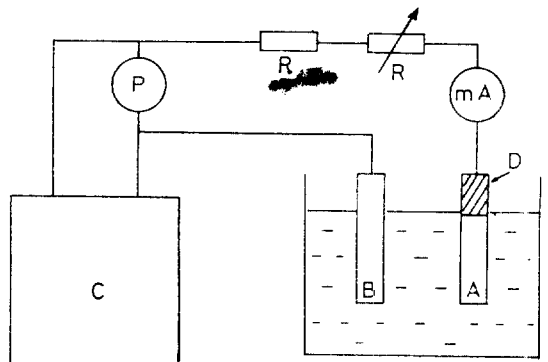


Fig. 2. Schematic illustration of accelerated corrosion test set up.

- A: specimen (D: Teflon coating)
- B: counter electrode
- C: DC power source
- R: resistors

현미경 조직 변화에 따르는 전극 전위를 capillary 법⁷⁾으로 측정하였다.

이상의 각 실험에서 쓴 시험편은 모두 필요한 기계적 가공을 마친 다음 아세톤으로 1차 세척하고 다시 끓는 벤젠에 5분 이상 탈지후 사용 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 U-bed 실험

해수 분위기 속에서 응력을 받은 강재의 부식 상태를 확인하기 위하여, 모재와 용접부에서 각각 채취하여 만든 U-bend 시험편을 NACE 규격⁸⁾에 의거 약 200 시간 침지한 다음 초음파 세척등 일련의 처리를 거친 후 표면과 단면을 관찰 하였다. 그 결과 모재 시험편과 용접부 시험편에서 모두 균열 발생은 전혀 관찰되지 않았으며, 전체적으로 균일하게 부식된 표면만을 나타내고 있었다. 이러한 결과는 일반 탄소강이 염수 중에서 쉽게 응력부식균열을 일으키지 않으며, 특히 상온에서는 부가된 응력이 항복점을 넘게 되어도 모재는 균열에 대하여 안전하다는 다른 사람들의 실험 결과^{9,10)}와 일치하고 있다. 상온에서 U-bend 시험편으로 연강 용접부의 응력부식균열을 연구한 예는 저자들이 찾아본 바에 의하면 문헌에는 나타나 있지 않았는데, 위에서 말한바와 같이 용접부에서도 전혀 균열을 발견하지 못한것은 아마도 온도의 영향이 중요한 요인으로 작용하지 않았나 생각된다. 이와같은 결과는 제삼 제형 실험에서도 확인할 수 있었는데 여하튼 상온, 해수 분위기에서 용접부가 응력부식균열에 특히 민감하지 않을까하는 우리는 본 실험 결과 그 가능성이 희박함을 알 수 있었다.

3.2 장기간 침지 실험

구조물의 수명 예측이나 사용 조건에 따른 부식 정도를 측정하기 위하여는 실제 분위기에서 실제 크기와 유사한 실험용 구조물을 수개월 또는 수년간 방치하고 각종 실험을 종합적으로 행하는 것이 바람직 하다^{11~15)} 그러나, 본 연구에서는 강종별 부식 상태의 비교와 용접부의 부식 거동 및 강제 제조과정과 용접시공에서 부식을 감소 시키기 위한 가능한 조치를 추정하는데 목적을 두고 있었기 때문에, 일정한 크기로 제작된 시험편을 부식 분위기 중에서 일정한 시간(4,550시간)동안 노출 시킨후 표면의 부식 상태를 조사 하는것으로 실험 범위를 제한 하였다.

Fig. 3은 장기간 침지 실험 결과의 대표적인 예를 나타낸 것으로 a는 용접부(bead)표면의 모습이고, b는 모재시험편에 대한 사진이며 오른쪽의 사진은 시험편 표면의 일부를 stereoscop으로 확대한 것이다. 모재부는

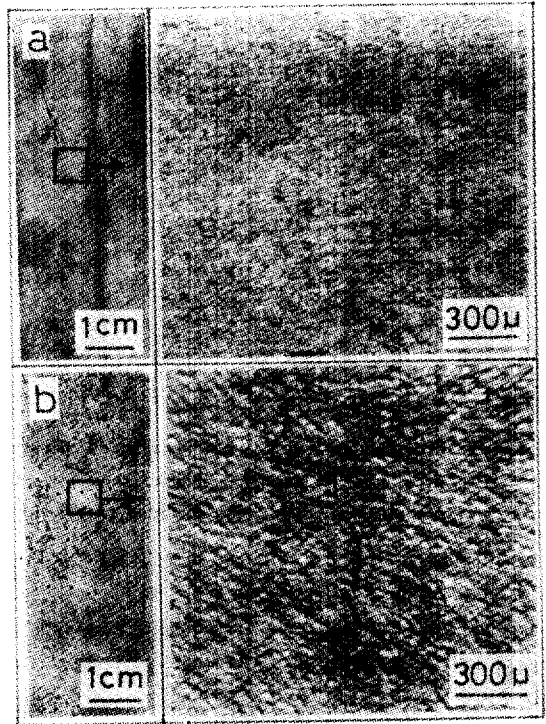


Fig. 3. Surface appearance after 4550 hr immersion (Stereographs are on the right.).

A: weld bead

B: parent metal

실험전 압연된 그대로였기 때문에 검은색의 산화피막(압연 스케일)이 표면 전체에 덮여 있는 상태였다. 실험이 진행되는 동안 이 피막은 모두 용해 되었는데, 피막의 두께가 균일하지 않고 粘着 상태도 비교적 일정하지 못하므로 피막이 용해된 곳에 움푹한 표면이 많이 형성되어, 일반적으로 모재부는 장기간 침지실험 후 거친 표면을 나타내고 있었고 깊이 0.3 mm 내외의 수 많은 pit도 관찰되었다. 한편, 용접부 표면은 모재에 비하여 훨씬 매끈하고 균일한 부식 상태를 나타내었는데(Fig. 3 참조), 이와같은 현상은 용접후 용접부 표면에는 일반적으로 얇고 균일한 산화 피막이 형성되기 때문에 나오게 된 결과라고 생각된다. 따라서 압연시 板材 표면의 압연 스케일 관리가 부식 측면에서 필요함을 알 수 있었다.

Fig. 4는 각 시험편의 측면 노출부를 조사한 결과이다. 이 면에서는 모재부 용접부 다 같이 전체적으로 균일 부식의 형상을 보이고 있었으며, 부식 정도는 용접부에서 크게 나타났다. 또, 불순물의 편석대를 따서 국부적으로 깊은 침식을 받은 곳도 관찰할 수 있었다. 그 부분을 절단하여 단면을 금속 현미경으로 확대하여 본 결과 침식을 당한 선단부에는 비금속 개재물이

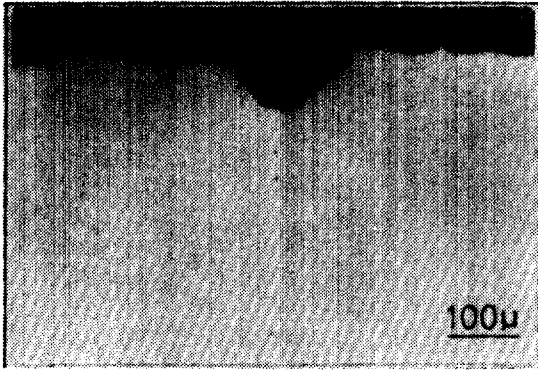


Fig. 4. Cross-sectional surface of the corroded specimen after 4550 hr immersion. Non-metallic inclusions are seen right below the corroded groove.

떨어져나간 흔적이 많이 있었고, 아직 부식을 받지 않은 곳에서도 비금속 개재물의列이 확실히 관찰되어 이들의 영향을 확인할 수 있었다. 이와같은 결과는 강재의 내부에 존재하는 비금속개재물이 주변에 대하여 전기화학적으로 不活性을 나타내므로, 그 경계면에서 국부전지가 형성되어 부식 반응이 가속되며 분위기에 따라서는 응력부식균열을 일으킨다는 보고¹⁶⁻¹⁸⁾와도 상응하는 것이다. 따라서 비금속 개재물은 그 강재가 고균화하면 할수록 기계적 성질 뿐만 아니라 부식에도 큰 영향을 줄 수 있으므로 편석의 억제 또는 전대량의

저감이 매우 중요한 것으로 사료된다.

Fig. 5는 실험 시간에 따른 각종 시험편의 부식도를 무게 감량으로써 비교한 것이다. 도표를 보면 용접부 시험편에서의 용해량이 모재 시험편에 비하여 많은 것을 알 수 있으며, 용접부 시험편의 경우에는 용접 입열량이 큰 시험편에서의 용해량이 작은 시험편에서의 용해량보다 낮게 나타나 있다. 이러한 결과는 용접부 시험편을 제작할 때 시험재의 크기가 제한 되어 있었고(Fig. 1), 多層용접을 실시하였기 때문에 전후의 용접층 사이에서 남아있는 熱에 의하여 흡사 시험재에 열 혹은 후열 처리를 행한 것과 같은 효과를 주어서 용접부의 조적이 변화 하였거나, 용접 잔류응력의 변화 등이 생겨 부식 속도를 감소시킨 것으로 생각된다.

3.3 정전류 가속 실험

시험편의 부식 거동을 짧은 시간내에 조사하기 위하여 외부 전류를 이용한 가속 부식시험법을 적용하였다. 부식 용액의 온도는 20°C 전후로 이것은 봄·가을 하양에서의 수온에 해당된다¹⁷⁾. 또한 부식도를 경량화하기 위하여 이미 알려진 방법을 사용하면서, 간편하고 실용적인 表面粒度 측정에 의한 부식도의 경량화 방법도 시도해 보았다. Fig. 6은 정전류 가속 실험 전후를 통한 표면조도의 변화를 나타낸 것이다. 도표에서 A(실험전)의 수직방향 배율은 0.5μm/div이며, B(95시간) 및 C(328시간)의 경우에는 모두 2μm/div이다. 따라서 A 곡선은 언뜻보기에는 조도 변화가 심한 것 같으나 사실은 두 곡선에 비하여 거의 직선과 같다고 말할 수 있다. Fig. 6을 보면 95시간 실험후(B 곡선들) 모재와 열 영향부(HAZ)에서는 약간의 용해만 이루어지고 있음을 알 수 있으며, 용접부의 곡선 모양은 앞의 것들과는 다르게 매우 복잡하여 심한 침식을 받았음을 나타내고 있다. C 곡선(328시간 실험후의 결과)을 보면 모재부와 열 영향부에서는 비슷한 정도의 부식도를 나타내고 있으며, 용접부 표면만이 지심하게 침식 당한 것을 알 수 있다.

한편, Fig. 7은 표면조도값을 수치화하는 한 방법인 “구간 최대 粗度값(R_{max})”¹⁹⁾을 사용하여 강종별 부위별 부식도를 실험 시간에 대하여 정리한 것이다. Fig. 7에서 용접부의 R_{max} 값이 시간에 따라 증가 하는 것은 시험 표면의 요철(凹凸)이 점점더 심해져 가는 것을 뜻하며, 시험재 A와 B(40kg/mm²급 강재)에서의 R_{max} 값은 실험시간 내에서 계속 증가하는 추세를 보이고 있으나 시험재 C(50kg/mm²급 강재)에서는 일정 시간 경과후 R_{max} 값이 거의 일정하게 됨을 나타내고 있다. 한편, 열 영향부의 R_{max} 값은 용접부의 R_{max} 값보다 작고 모든 시험재에서 어떤 시간이 경과한 후

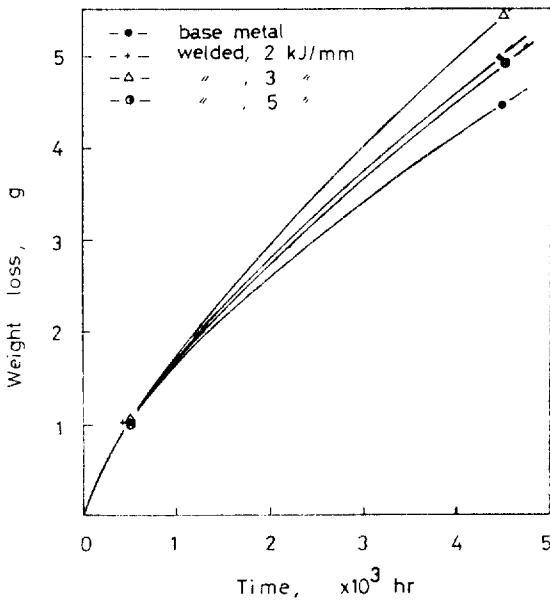


Fig. 5. Trend of weight loss as a function of exposure time

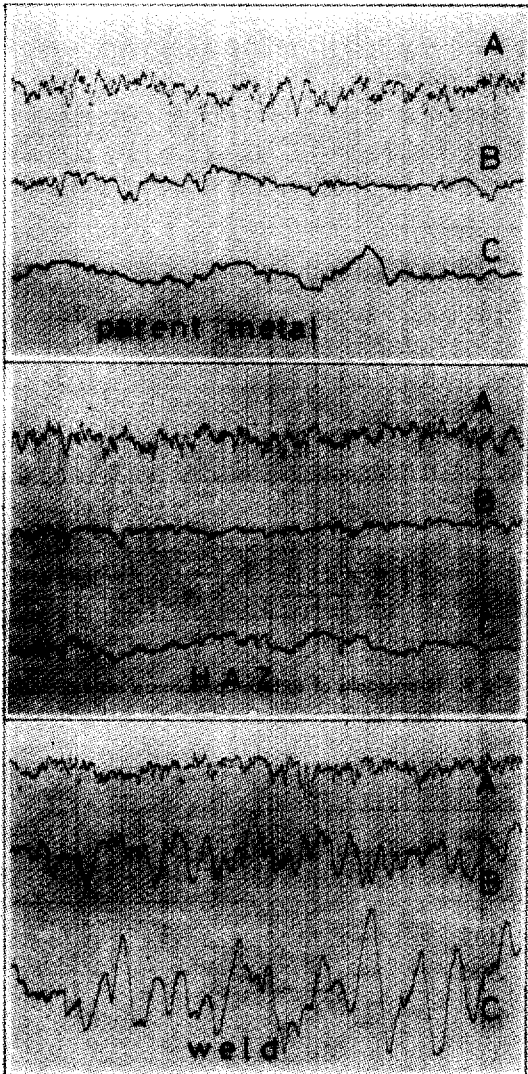


Fig. 6. Surface roughness profile of accelerated corrosion specimens.

- A: before immersion (vertical scale: $0.5\mu\text{m}/\text{div.}$)
- B: 95 hr immersion (vertical scale: $2\mu\text{m}/\text{div.}$)
- C: 328 hr immersion(" ")

일정한 값을 유지하고 있으며, 이때에도 시험체 C에서의 값이 다른 강제에서의 값에 비하여 좀더 定常狀態에 있음을 보이고 있다.

위의 실험 결과에 의하면 정전류 가속 실험 초기에는 부식량과 표면조도 변화 사이에 상관관계(직선성)가 뚜렷함을 알 수 있다. 그런데, 정전류 가속 실험시 전류 밀도가 $260\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이었으므로, 이를 mmpy로 환산할 때 부식 속도는 약 3.30mmpy가 된다. 일반적으로 해수내에서 탄소강의 부식 속도는 정제된 해수의

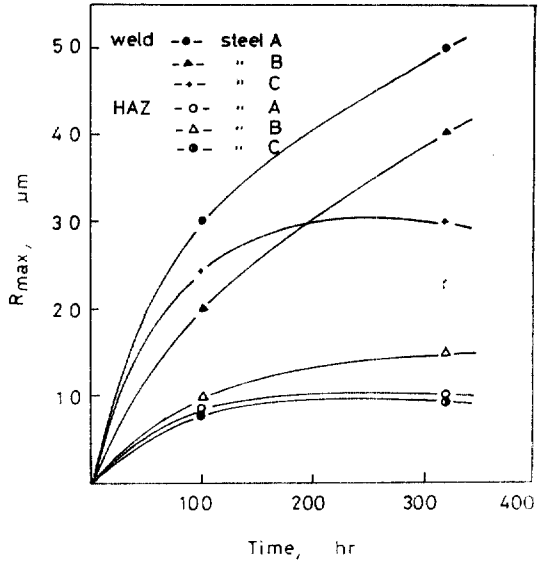


Fig. 7. Relation between R_{max} value and exposure time (heat input: $4\text{kJ}/\text{mm}$).

경우 0.13mmpy, 유속 15 ft/sec의 해수 중에서는 최대 0.76mmpy까지 잡고 있는데²⁰⁾위의 3.30mmpy는 정제된 해수에서의 부식 속도 보다 20배 이상 되므로 시간에 따르는 R_{max} 의 증가 추세가 장시간 계속될 것이 예상된다. 따라서 정전류 가속 실험이 아닌 자연부식 실험의 경우 R_{max} 값 변화는 장시간 계속 되리라 생각되며 이 값은 부식량을 대변 하는 것으로 볼 수 있으므로 자연 부식 실험에 이러한 표면 조도 변화 측정법을 도입하면 부식 표면의 용해 상태를 알 수도 있고 수치화 할 수도 있어서 신속하고 편리한 부식도 측정법으로 활용될 수 있으리라 기대 된다.

Fig. 8은 현미경 조직에 따라 부식기동이 어떻게 달라지는가를 알아보기 위하여 정전류 가속 실험을 거친 모재 시험편의 단면을 금속 현미경으로 관찰한 것이다. a로 표시된 시험편은 일반 압연 강재로서 ferrite와 pearlite의 띠(band structure)가 뚜렷이 나타나 있는 현미경 조직을 갖고 있었으며, b는 cross 압연된 강재로서 매우 미세한 현미경 조직을 나타내고 있었다. 강재 b는 또한, Ni, Mo, V 등 첨가 원소도 함유된 60kg/mm²급 고장력 강재 임을 부연해 둔다. Fig. 8 a와 b는 해당 시험편의 X-X' 단면(Fig. 8 c)을 관찰한 것이다. Fig. 8 a와 같은 조직의 시험편에서는 부식 분위기에 노출된 부분(사진의 上部)에는 요철이 보이고 거기에는 거의 대부분 초석 ferrite만 남아있으며(사진에서 흰색) 다른곳²¹⁾에서도 언급 되어 있는바와 같이 pearlite는 이미 용출되었음이 주목할만 하다. 그러나

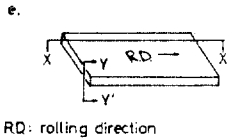
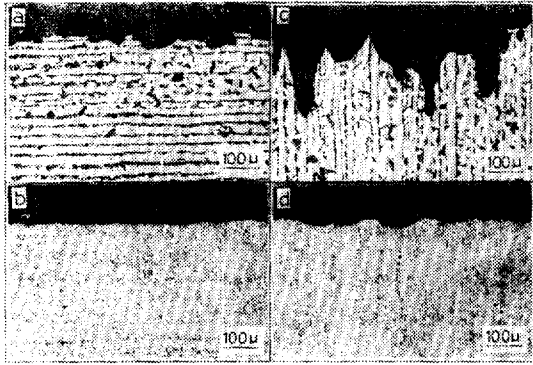


Fig. 8. Micrographs of corroded specimens with and without pearlite band structure, observed in different cross-sectional directions.

Fig. 8 b 와 같은 조직의 시험편에서는 오철이 거의 없는 부식 상태를 보였다. 한편, Fig. 8 c, d 는 Y-Y' 단면을 관찰한 것인데, X-X' 단면에서와 비슷한 부식 형태를 보이고 있으며 특히 pearlite 의 띠 조직을 갖는 강재의 경우는 pearlite 의 띠를 따라서 극심한 침식을 받은것이 관찰 되었다. 따라서 pearlite 띠 조직은 부식후의 강재 표면 상태를 불규칙하게 하고 국부적인 침식도톤 높이는 경향을 나타내어 바람직한 조직이 되지 못함을 쉽게 판단할 수 있었다.

Fig. 9 는 용접 결과 생긴 현미경 조직변화에 따라 부식거동이 어떻게 달라지는가를 조사한 것으로 왼편은 열 영향부이고 오른편은 용접부이다. a 는 단면을 금속 현미경으로 관찰한 것이며 b 와 c 는 각각 열 영향부와 용접부 표면의 stereoscope 사진이다. Fig. 9 a 를 보면 열 영향부의 극히 조대한 조직에서 용접부의 주요 조직으로 바뀌는 곳(bond 부)에서는 조직의 변화가 완전히 불연속적이 되어 이 조직변화의 영향으로 부식 형태도 완이하게 달라진 것을 알수있다. 즉, 용접부가 열 영향부 보다 깊은 침식을 받고 있으며 또, 용접부에서는 돌출부가 몇개 나와있는데 이 돌출부는 용접부 내의 ferrite 띠가 부식되지 않고 그대로 남아있는 것으로 관찰 되었다. 이 ferrite 띠의 한 예를 그림에 화살표로서 위치와 방향을 표시 하였다. 이와같이 용접부의 부식이 심한 것은 용접 중심부와 열 영향부와의 현미경 조직, 용접잔류 응력 또는 금속 가열—냉각에 따른 불완전한 변태²²⁾등의 복잡한 상호작용으로

용접부의 부식 반응이 상대적으로 가속 되었기 때문인 것으로 추측된다.

용접결과 열 영향으로 생긴 현미경 조직 변화가 부식 반응에 영향을 미치는 예는 정전류 가속 실험 수행 중 빈번히 관찰 되었는데, Fig. 10 a 는 열 영향부와 용

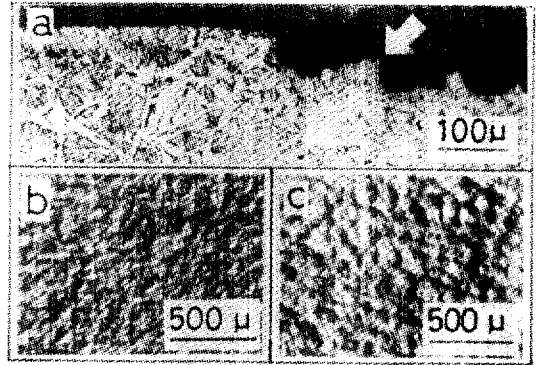


Fig. 9. Stereographs of surface appearance after corrosion (see text).

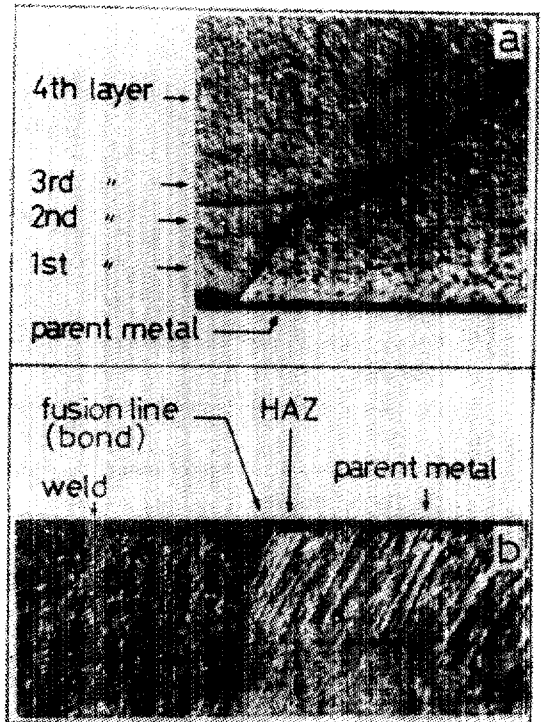


Fig. 10. Micrograph (upper) and stereographs (lower left for HAZ, and lower right for weld) of corroded surface near weld.

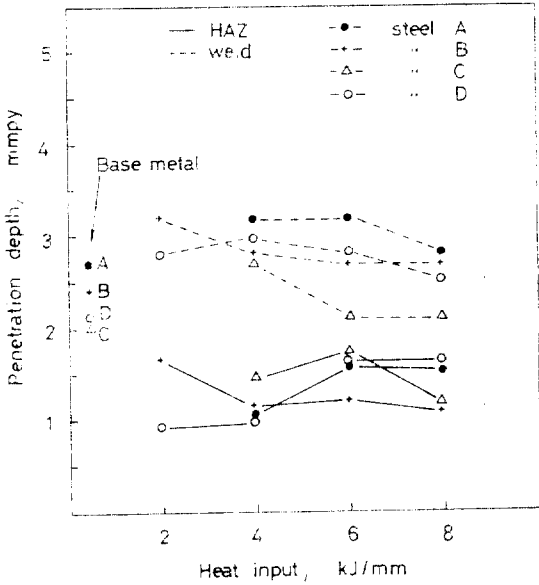


Fig. 11. Relation between penetration depth and heat input.

접부 경계면을 따라 우선적으로 침식이 일어난 모양을 나타낸 것이고, b는 다층 용접 시험편에서 용접층에 따라 부식 속도가 뚜렷이 달라서 층별로 계단 형태를 이루고 있는 모양을 나타낸 것이다.

Fig. 11은 용접 입열량의 차이가 열 영향부와 용접부의 침식에 미치는 영향을 정량화하기 위하여 point micrometer를 써서 조사한 실험 결과이다. 부식 방법은 역시 정전류 가속 실험으로 수행 하였다. 여기에서는 용접 입열량이 증가 할수록 용접부의 침식도가 하향하는 경향을 보이고 있으나, 열 영향부는 입열량에 따라 침식도가 크게 바뀌지 않고 있다. 용접부의 침식도가 입열량에 따라 하향하는 경향을 보인것은 전술한 바와같이 시험체의 크기가 제한되어 있었고 다층 용접을 실시 하였기 때문에 얻어지는 열처리 효과로 생각된다.

3.5 시험편 부위별 전극 전위의 측정

Fig. 12는 각종 용접 시험편의 표면을 nital로 가볍게 부식 시키면서 용접시 열 영향에 의하여 생긴 조직의 변화가 뚜렷한 경계를 1차적으로 판별한 다음 각 경계간의 구간을 금속현미경으로 확인, 7~8 부위로 나누고 각 부위의 전위를 카로벨 기준전극에 대하여 측정한 결과의 한 예이다. 이 도표를 보면 각 시험편의 용접부 중심 부근에서 가장 낮은 전위값이 읽히고 있으며 열 영향부 쪽에서의 전위가 높은 값을 나타내는 경우가 많이 있었다. 이 결과를 앞의 Fig. 11과 비

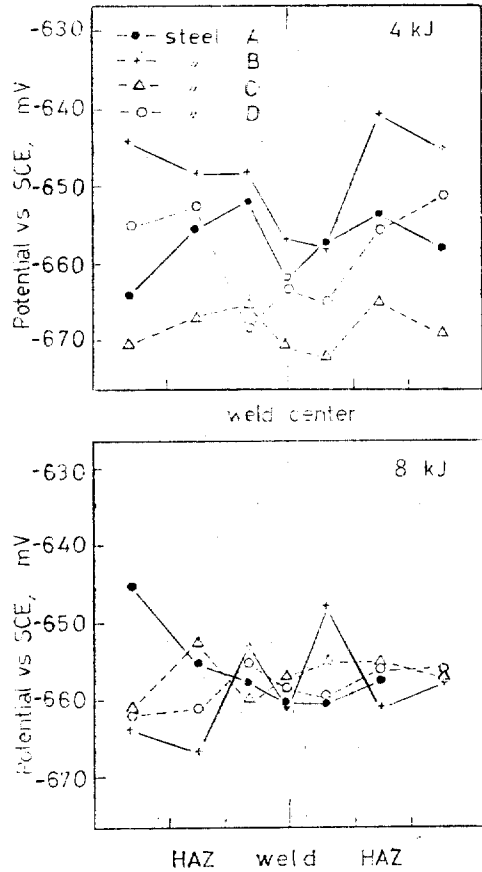


Fig. 12. Steady state potential developed on the weld specimen as a result of microstructural change.

교해 보면 매우 좋은 상관 관계를 발견할 수 있는데, 즉 열 영향부와 용접부 사이의 전위차가 크면 클수록 그들 사이의 부식도의 차이도 커지고 있다. 이러한 경향은 입열량과 관계 없이 전 부위에 걸쳐 비슷한 결과를 나타내고 있으며, 전위의 차이가 가장 작은 시험체 C에서는 부위별 부식도의 차이도 가장 작아 두 실험 결과가 잘 일치하고 있다.

이상의 결과들을 종합하여 볼 때 부위별 전기화학적 성질의 차이는 주로 모재로부터 용접 중심선까지의 현미경조직 변화에 관련 되는 것 같았다. 왜냐하면, 용접시 용융부에서는 용접봉의 영향으로 성분의 희석이 일어나서 탄소 성분등의 감소로 인하여 부식 속도가 낮아질 것으로^{13,23)} 생각 되었으나, 본 실험 결과에서는 이와같은 경향은 확실히 나타나지 않았고 오히려 용접부가 더 많은 침식을 받고 있었기 때문이다.

4. 결 론

- 1. U-bend 실험 결과 상온, 3% 염수 분위기에서 저합금 구조용 강재의 용접부는 응력 부식 균열을 일으키지 않고 균일 부식만 다소 심하게 일어났다.
- 2. 장기간 침지 실험후의 표면 부식 상태를 보면 용접부 보다 오히려 모재부에서凹凸이 심하게 나타났는데 이것은 모재 표면의 압연 스케일의 영향으로 생각되며, 표면 요철의 증가는 表面積의 증가를 일으켜 향후의 부식량을 크게 할 것이므로 이 스케일의 적절한 관리가 필요하다.
- 3. 강재 내부의 비금속 개재물과 불순물의 편석은 부식 속도를 높이고 균열의 기점이 될 수 있으므로 비금속 개재물의 저감 또는 구상화 처리가 반드시 요망된다.
- 4. 부식 속도가 낮을 경우 표면조도 측정법을 도입하면 간편하고 재현성있게 부식 정도를 평가할 수 있다.
- 5. 통상 압연 후관재에서 pearlite 띠 조직은 단면이 부식 분위기에 노출될 때 국부적으로 심한 침식을 받을 수 있으므로 해양 구조용등 엄격한 관리가 요망되는 강재는 제조과정에서 조직의 미세화 또는 띠조직의 제거 방안이 모색 되어야 한다.
- 6. 용접부의 부식 속도는 재질 자체의 성질이나 용접봉에 의한 성분 희석등에 직접 영향 받기 보다는 오히려 용접부와 그 근처의 현미경 조직에 더 관계되며 이때 발생하는 전기화학적 부식의 추진력을 감소시키기 위하여 용접 설계시 열처리등의 전후 관리가 필요하다.

참 고 문 헌

1) 稻垣道夫, 伊藤慶典: 高張力鋼, 低溫用鋼의 溶接,

産報出版(1978)
 2) ASTM G 30-72
 3) 藤原和雄, 泊里治夫: 鐵と鋼, 67 (11), 2019 (1981)
 4) ASTM G46-76
 5) Charlotte Weisman: Welding Handbook, Vol. I, 7th ed., AWS (1976)
 6) M. Kowaka and S. Wagata: Corrosion, 24 (12), 427 (1968)
 7) H. H. Uhlig: Corrosion Handbook, Wiley N. Y., 1966, p987
 8) NACE TM-01-69
 9) C. S. Carter and M. V. Hyatt: Review of SCC in Low Alloy Steels with yield strength below 150 KSI, NACE, 524
 10) R. B. Teel: ANL/OTEC-BCM-008
 11) 紺野和義: 川崎製鐵技報, 4 (1969)
 12) C. P. Larrabb: Corrosion, 14, 501 t (1958)
 13) 榑本弘毅: 製鐵研究, 284 (1975)
 14) 島田春夫, 三井田万穹, 橫大路照男: 製鐵研究, 284 (1975)
 15) 內藤浩光, 堀田渉, 岡田秀彌: 製鐵研究, 284 (1975)
 16) J. G. Parker: Sulfide Inclusions in Steel, ASM, 1975, p403
 17) 岡田秀彌, 島田春夫: 防食技術, 30 (1), 35 (1981)
 18) 菊田米男, 荒木孝雄: 材料科學, 17 (6), 292 (1981)
 19) 浦項綜合製鐵(株) 材料試驗技術標準書 및 作業標準書
 20) M. G. Fontana and N. D. Greene: Corrosion Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill, 1978, p271
 21) 姜聖君, 尹勝烈: 韓國腐蝕學會誌, 4 (3), 75 (1975)
 22) 松田福久: 溶接冶金學, 日刑工業新聞社, 1976, p209
 23) H. H. Uhlig: Corrosion, 19 (7), 231 t (1963)