

오스테나이트 304 스테인레스 강의 응력부식균열에 미치는 냉간가공의 영향

Effect of Cold Work on the Stress Corrosion Cracking in Austenitic 304 Stainless Steel

강 계 명* · 최 종 운*

Kae-Myung Kang · Jong-Woon Choi

(1996년 12월 2일 접수, 1997년 3월 28일 채택)

ABSTRACT

This study was made of the effect of cold working on the stress corrosion cracking(SCC) of austenitic 304 stainless steel in boiling 42% MgCl₂ solution. For this experiment, specimens cold-worked of 0%, 10%, 20%, 30%, 40% were fabricated respectively, and then experiments of mechanical properties and stress corrosion cracking(SCC) of these specimens were carried out. The results of these experiments indicate that the maximum resistance to SCC showed at 20% of cold working degree and that the SCC susceptibility depended on the volume fraction of deformation-induced martensite by cold working and the work hardening of matrix. On the other hand, the fracture mode was changed. This phenomenon was considered that deformation-induced martensite was grown from transgranular fracture mode to intergranular fracture mode and caused by increased of dislocation density along the slip planes.

1. 서 론

오스테나이트계 스테인레스강은 기계적 성질이 우수하고 내식성이 뛰어나 화학플랜트의 압력용기와 원자력발전소의 배관재 및 열교환장치 등의 설비재, 해양구조물과 극지개발용 구조물 등의 구조용재료로서 산업전반에 걸쳐 널리 사용되고 있다.

그러나 이 강재는 특정의 부식분위기와 인장응력이 동시에 부과되는 응력부식분위기하에서 응력부식균열(stress corrosion cracking : SCC)을 일으키는 것이 주요한 문제점으로 있다¹⁾. 이에 이들 재료의 SCC 파괴기구에 관한 연구결과는 설비구조물의 사용연한과 사용중 안정성의 평가 및 구조물의 수명연장에 주요한 평가수단으로 있다.

* 서울산업대학교 재료공학과

최근 가혹한 사용조건과 다양한 환경적 부식인자의 증가에 따라 구조물의 SCC저항성에 관한 급속학적 연구과제는 더욱 중요하게 부각되고 있다. 이들 연구로는 응력부식균열의 발생과 성장 및 파괴거동에 미치는 부식인자의 영향과 사용재료의 성분원소에 대한 영향, 나아가서는 조직학적 인자와 내부응력분포 및 가공도 등에 미치는 영향등으로 있다²⁻⁴⁾. 특히 오스테나이트계 스테인레스강의 조직학적 인자와 강도특성에 미치는 SCC의 영향에 관한 연구는⁵⁻⁸⁾ 오스테나이트 결정입도와 석출물의 위치, 크기, 형상과 분포, 사용전처리, 가공도 및 상분포 등에 관한 것으로서, 이들 연구결과는 구조물의 안전성 평가에 중요한 연구임에도 불구하고 아직 명확하게 규명되지 못한 상태이다.

본 연구에서는 오스테나이트계 304 스테인레스강을 시험재료, 냉간가공을 달리하여, 냉간가공도에 따른 STS 304 강 of 기계적 성질과 조직을 관찰, 조사하였다. 이들 조사된 재료를 SCC 저항성 시험의 시험재료로 선택하여, 끓는 42% 염화마그네슘 수용액에서 인장응력을 부과한 응력부식균열시험을 하여, 냉간가공도가 SCC 저항성에 미치는 영향에 관하여 미세조직의 영향과 응력부식균열의 전파거동 및 기계적 성질과의 관계를 급속조직학적으로 조사, 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 SCC 시험편

본 실험에 사용된 재료는 AISI 304 스테인레스강(이하 STS304강)으로 그의 화학적 조성은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical Composition of AISI 304 Stainless Steel

| Elements | Cr | Ni | C | S | Mn | P | Si | Mo | Cu |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Wt. % | 18.22 | 8.23 | 0.07 | 0.01 | 0.72 | 0.02 | 0.57 | 0.17 | 0.13 |

먼저 5mm두께의 STS 304 강 판재를, 냉간가공도가 0%, 10%, 20%, 25%, 30%, 40%로 달리하여, 1.5mm의 최종두께가 되도록 각 가공도에 따라 판재의 초기 두께를 계산하여 냉간가공하였다. 가공된 각 시험재는 Instron을 사용하여 cross head speed를 5mm/min로 인장시험하였다. 냉간가공에 따른 미세조직의 변화는 Micro Vickers경도계를

사용하여 500g하중, 30초 하중시간에서 미세경도의 변화를 측정하였다. 이와같이 준비된 시료를 Fig. 1과 같은 SCC 시험편으로 제작가공하여 SCC 시험에 사용하였다.

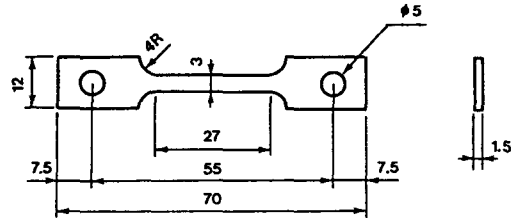


Fig. 1 Stress corrosion cracking test specimen(unit : mm)

2.2 SCC 시험

SCC 시험에 앞서 냉간가공에 따른 각 시험편을 116°C~120°C MgCl₂ 용액내에서 양분극특성곡선을 조사하여 Fig. 2에 나타내었다. 이들 분극특성으로부터 SCC 시험시 부식전류밀도는 약 200mA/cm² 이상이 되도록 정하였고, 이때 걸어준 전위는 1V이었으며, 음극은 Cu wire를 사용하였다. SCC 시험은 116°C~120°C 42% 염화마그네슘 용액을 사용하였고, 부하하중은 각 시험편의 측정된 항복응력의 10%, 20%, 30%, 40%로 정하여, 부하응력의 변화에 대한 SCC 파단시간을 측정하였다.

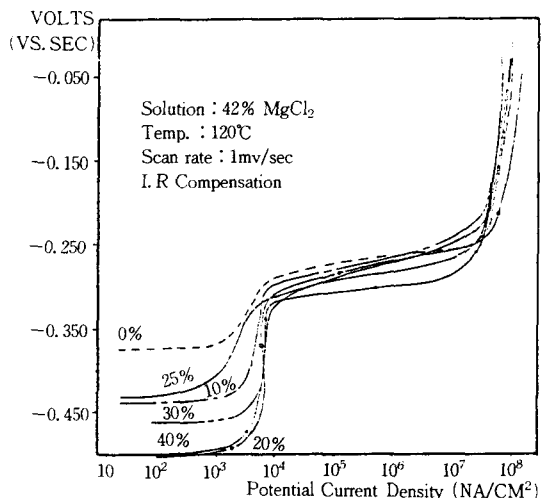


Fig. 2 Potentiodynamic behaviors of AISI 304 stainless steels with cold work in MgCl₂ solution

2.3 현미경 관찰

앞서 SCC 시험으로부터 얻은 각각의 시험편을 급속조직학적으로 관찰, 조사하기 위하여 각각 가공도에 따른 조직특성과 균열전파거동 및 파단면을 현미경으로 관찰조사하였다. 먼저 시험편을 #100, 600, 1000, 1500CW 연마지로 조연마하고, 입도 0.05 μ m 산화알루미늄분말로 미세연마하였다. 현미경조직관찰은 45ml 글리세린, 15ml 질산, 30ml 염산 부식액으로, 균열은 20ml HCl, 4g CuSO₄, 20ml H₂O의 Marble 용액으로 상온에서 3~5초 etching한 후 증류수로 세척하여 관찰, 조사하였다. 또한 변형유기된 마르텐사이트조직의 관찰은 100ml 알코올(95%), 20ml 염산에서 15~30분 etching한 후 광학현미경으로 조사하였으며, 부피분율은 Pointing counter method⁹⁾에 의해 3회 측정후 그의 평균값을 취하였고, SCC 파단면은 SEM으로 관찰, 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 냉간가공도에 따른 기계적 성질

냉간가공도에 따른 각 시험편의 기계적 성질을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Mechanical Properties of AISI 304 Stainless Steel

| Degree of Cold Work (%) | Yield Strength (kg/mm ²) | Tensile Strength (kg/mm ²) | Vicker's Hardness (Hv, 500g) |
|-------------------------|--------------------------------------|--|------------------------------|
| 0 | 27.4 | 68.0 | 197.3 |
| 10 | 48.0 | 76.9 | 272.8 |
| 20 | 67.7 | 84.5 | 409.7 |
| 25 | 74.1 | 88.3 | 418.3 |
| 30 | 80.2 | 92.4 | 418.3 |
| 40 | 90.4 | 106.3 | 417.7 |

표에서 볼 수 있는 바와같이 냉간가공도가 증가함에 따라 인장강도나 항복강도는 증가함을 볼 수 있다. 이는 가공도의 증가에 따라 잔류응력의 증가 및 준안정 오스테나이트조직의 일부가 변형유기마르텐사이트로 치환되면서 나타나는 결과로 생각되며, 이에 관하여는 후의 조직관찰에서 재차 언급하겠다. 경도값은 20%의 냉간가공까지는 급격히 증가하다가 냉간가공도 25%이상부터 Hv의

값이 418로 거의 일정한 경도값으로 조사되었다. 냉간가공도에 따른 이와같은 강도와 경도값의 증가현상은 변형유기된 마르텐사이트조직의 부피분율의 영향과 냉간가공에 따른 오스테나이트 지지조직내 발생하는 전위밀도의 증가에 기인한 현상으로 사려된다.

3.2 현미경 조직 관찰

Fig. 3은 냉간가공도에 따른 각 시험편의 광학현미경사진이다. 사진에 볼 수 있듯이 가공도의 증가에 따라 각 grain내에 slip의 발생이 빈번하여짐을 관찰할 수 있다. 이를 광학사진 (b), (c)에 화살표로 slip띠를 나타내었듯이, 304 오스테나이트강의 냉간가공도에 따른 조직변태에 관한 타 연구결과와도 일치하였다¹⁰⁾. 특히 25%이상 가공도의 시험편에서부터는 grain내 조직양상이 다소 복잡하여짐을 볼 수 있다. 이는 slip에 의한 조직의 변화와 함께 shear에 따른 잔류오스테나이트가 변형유기된 마르텐사이트변태조직으로 급격히 진행됨에 따른 조직거동으로 생각되며 이로 인하여 가공도가 적은 조직보다 복잡한 양상을 나타내고 있다¹¹⁾.

이들 변형유기된 마르텐사이트의 부피분율을 구하기 위하여 마르텐사이트조직만을 선택적으로 부식시켜 조직을 관찰하여 보았다. Fig. 4는 냉간가공도에 따른 각 시험편의 변형유기된 마르텐사이트의 조직을 보여주고 있다. 사진에서 검은 부분은 변형유기된 마르텐사이트조직이고 흰 부분은 오스테나이트조직이다. 사진에서 볼 수 있는 바와같이 가공도 0%의 시험편에서는 모두 단일상의 오스테나이트 조직이었다. 그러나 가공도의 증가와 더불어 검은 부분의 변형유기마르텐사이트의 부피분율이 점차로 증가하여감을 뚜렷히 볼 수 있다. 이는 가공에 의하여 STS 304 강의 준안정 오스테나이트가 변형유기마르텐사이트로 변태되었기 때문으로서, 주지하는 바와같이 이와같은 상변태는 냉간가공에 기인한 shear mechanism에 의한 마르텐사이트변태로 생각된다. 그러므로 이들 각 시험편의 냉간가공도에 대한 각각의 마르텐사이트의 부피분율과 각각의 가공도에 따른 강도와 경도의 변화를 관계지어 Fig. 5에 나타내었다. 가공도가 증가함에 따라 변형유기된 마르텐사이트의 부피분율은 증가하고 강도와 경도 역시 증가하는 것

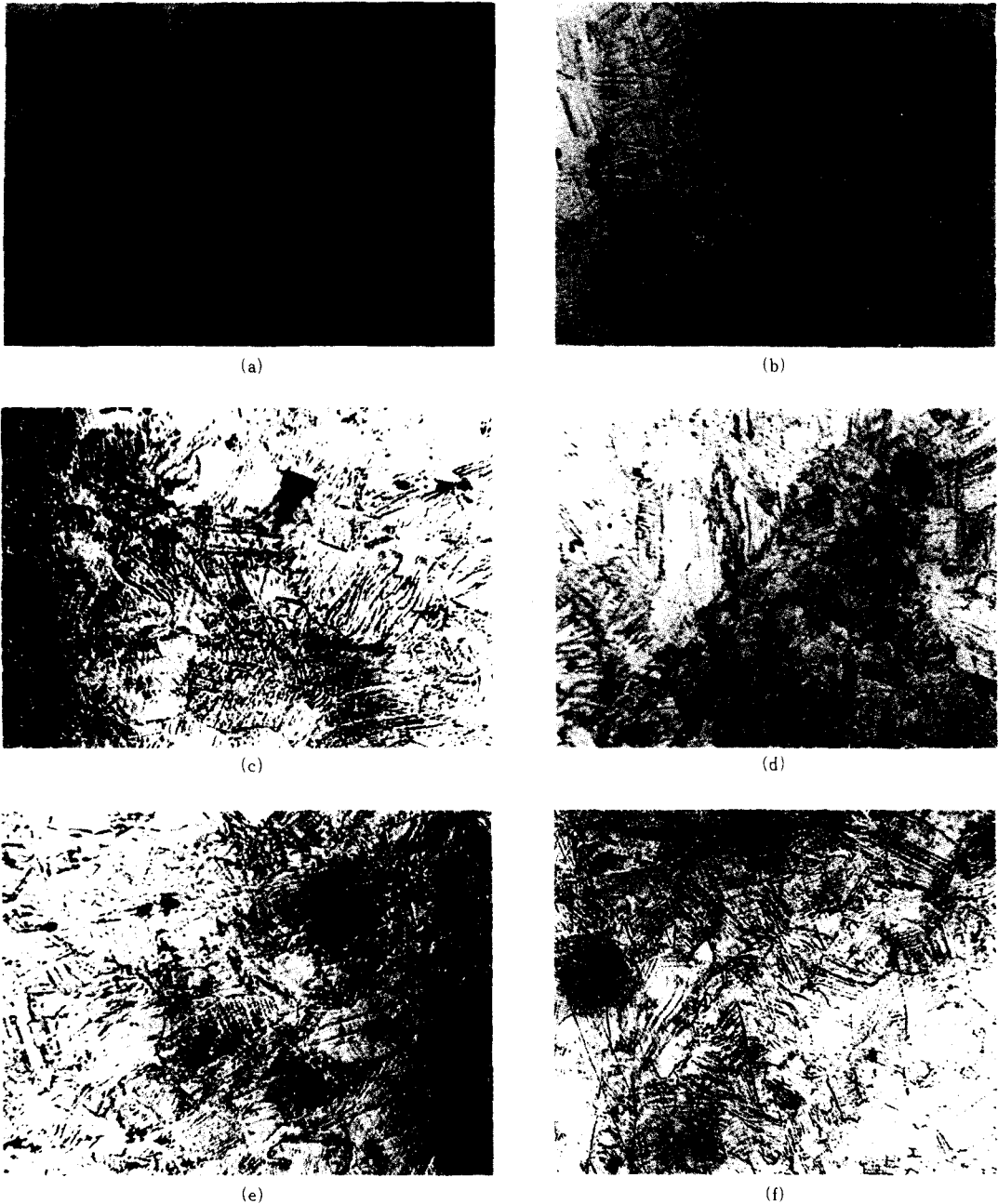


Fig. 3 Optical micrographs of AISI 304 stainless steel as a function of the degree of cold work :
(a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 25%, (e) 30%, (f) 40% ($\times 200$)

을 볼 수 있다. 즉 마르텐사이트의 변태는 강도와 경도에 영향을 주리라는 것을 쉽게 짐작할 수 있으

며, 앞서의 강도증가와 경도증가는 이들 마르텐사이트의 부피분율의 증가로 설명될 수 있다.

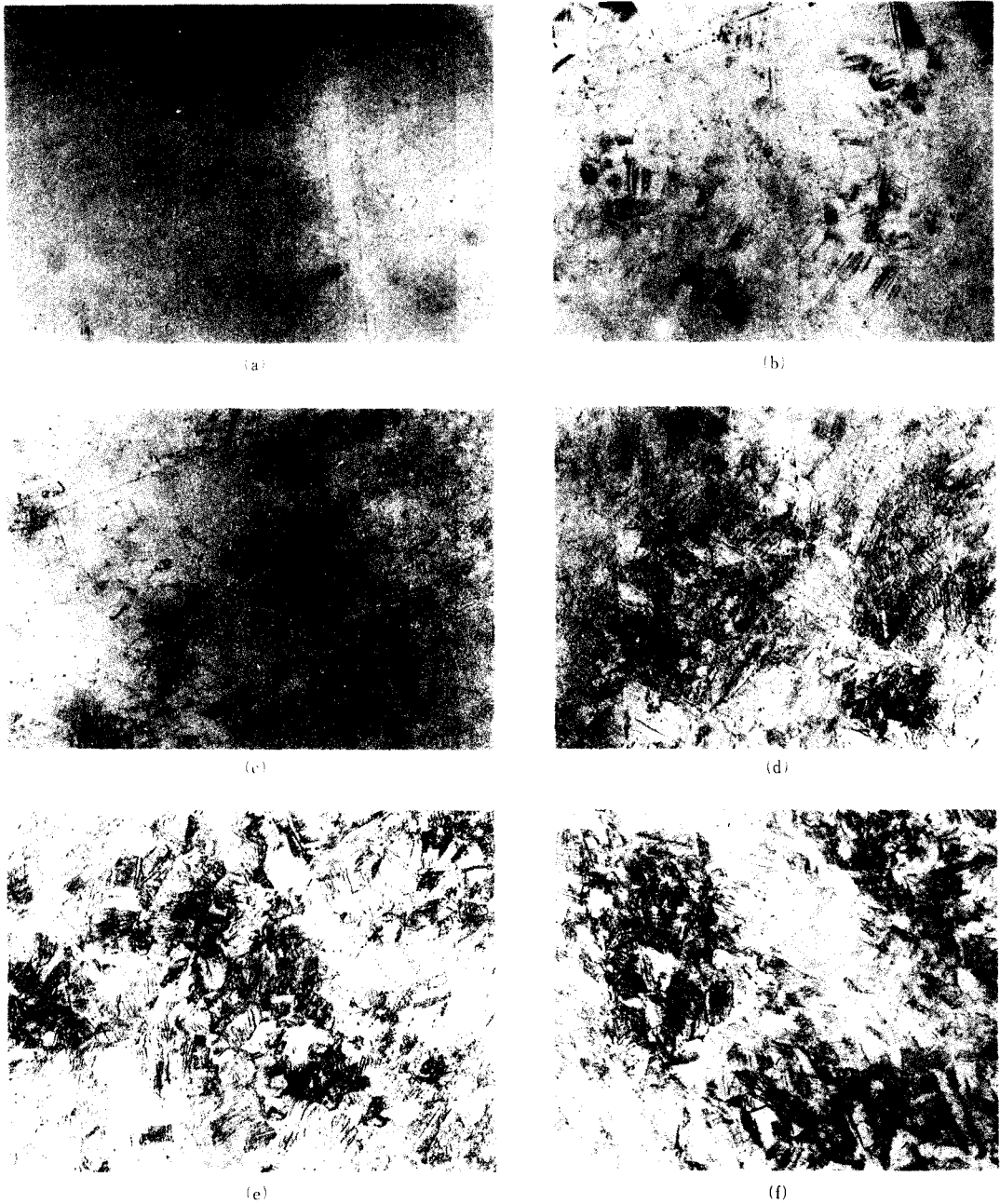


Fig. 4 Optical micrographs of deformation-induced martensite with degree of cold work :
 (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 25%, (e) 30%, (f) 40% (×100)

3.3 응력부식균열거동

가공도를 달리한 각 SCC 시험편에 항복강도의

0%, 10%, 20%, 30%, 40%에 해당하는 부하응력 하에서 SCC 시험하여 구한 SCC 파단시험결과를 Table 3에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 부하

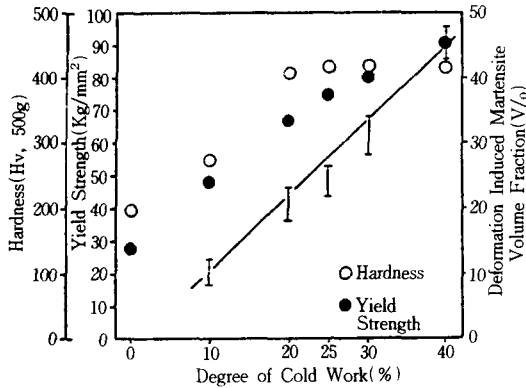


Fig. 5 The relationship of yield strength and hardness and volume fraction of deformation-induced martensite as a function of the degree of cold work

응력의 감소에 따라 가공도에 무관하게 SCC 파단 시간은 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 부하응력이 SCC의 주요파단인자임을 알 수 있게 한다. 한편 각 부하응력별 가공도를 달리한 각 시험편에서의 부하응력변화에 대한 SCC 파단시간을 조사한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 전 시험편에 걸쳐 전반적으로 20%의 냉간가공시킨 시험편에서 SCC 파단시간은 감소하는 경향으로 나타났다. 이와같은 냉간가공도의 영향이 SCC 파단시간에 미치는 현상은 냉간가공도에 따른 앞서의 강도변화와 조직관찰에서 볼 수 있었던 바와같이 변형유기된 마르텐사이트에 큰 영향을 받는 것으로 사려된다. 이에 관해서는 Clarke와 Gordon의 연구결과¹¹⁾에서도 가공도가 20%내지 30%에서 응력부식균열 저항성이 타 가공도에 비하여 우수한 결과를 얻고 있다는 보고와도 일치하였다. 더우기 본 시험의 연구결과는 일반적인 금속파괴에 있어 파괴강도는 경질의 제2상의 존재와 양 등에 크게 관계한다는 사실로도 설명할 수 있겠다^{12~14)}. 즉 본 시험의 경우, 기저조직인 단상의 오스테나이트조직보다는 경질 2상인 변형유기된 마르텐사이트와 오스테나이트의 혼합조직으로서, 이들 조직특성이 SCC 균열의 전파에 보다 큰 저항성을 가지리라는 것을 쉽게 생각할 수 있게 하며, SCC 파단시험결과에서 파단시간의 증가로 나타났다. 그러나 파다한 냉간가공에 의한 제2상의 부피분율의 큰 증가는 균열전파속도의 경감보다는 경질 제2상의 주위에 응력장을 형성시켜 미소균열을 발생시키거나, 균열의

Table 3 SCC Properties on AISI 304 Stainless Steel in 42% MgCl₂ Solution

| Degree of Cold Work (%) | Applied Load (Kgf) | Time of Fracture (Min.) | Temperature (°C) |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|------------------|
| 0 | 13(0.1×Y. S.) | 83 | 116 |
| | 24(0.2×Y. S.) | 70 | 116 |
| | 37(0.3×Y. S.) | 53 | 116 |
| | 50(0.4×Y. S.) | 42 | 116 |
| 10 | 21(0.1×Y. S.) | 91 | 116 |
| | 43(0.2×Y. S.) | 74 | 120 |
| | 65(0.3×Y. S.) | 60 | 118 |
| | 87(0.4×Y. S.) | 46 | 118 |
| 20 | 30(0.1×Y. S.) | 89 | 116 |
| | 61(0.2×Y. S.) | 72 | 116 |
| | 91(0.3×Y. S.) | 63 | 118 |
| | 122(0.4×Y. S.) | 54 | 120 |
| 25 | 33(0.1×Y. S.) | 94 | 116 |
| | 67(0.2×Y. S.) | 74 | 118 |
| | 100(0.3×Y. S.) | 58 | 118 |
| | 134(0.4×Y. S.) | 47 | 120 |
| 30 | 36(0.1×Y. S.) | 91 | 118 |
| | 72(0.2×Y. S.) | 68 | 118 |
| | 108(0.3×Y. S.) | 48 | 118 |
| | 144(0.4×Y. S.) | 40 | 120 |
| 40 | 40(0.1×Y. S.) | 88 | 118 |
| | 81(0.2×Y. S.) | 70 | 118 |
| | 122(0.3×Y. S.) | 45 | 118 |
| | 162(0.4×Y. S.) | 38 | 118 |

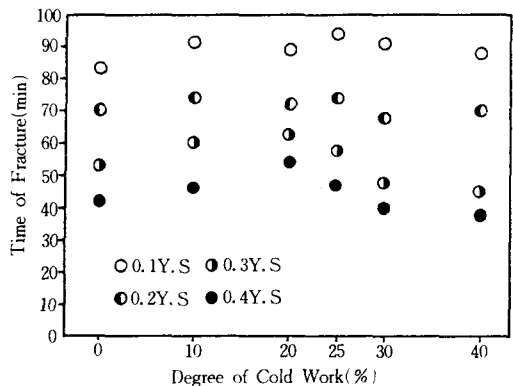


Fig. 6 Time of fracture on AISI 304 stainless steel as a function of the degree of cold work under various applied Load

전파경로로서 활용됨으로서 파괴에 요구되는 파단 시간은 단축되리라고 생각되며, 본 시험의 경우도

30% 이상 냉간가공시킨 시험편에서부터 SCC 파단시간이 감소되는 것으로 조사되었다. 따라서 본 시험의 경우 SCC 저항성을 증가시키기 위한 경질 2상으로서의 변형유기마르텐사이트의 양은 Fig. 4에서 볼 수 있었던 바와같이 18%~27% 마르텐사이트의 부피분율을 가지는, 냉간가공도 20%~25% SCC 시험편에서 최대의 SCC 저항성을 나타내었다.

한편 18-8 스테인레스강에 냉간가공도를 달리하여 나타난 변형유기된 마르텐사이트상에 관한 Kawabate 등의 연구결과에 의하면 변형유기마르텐사이트는 가공도가 16%가 되면 HCP상의 ϵ 마르텐사이트가 생성되고, 가공도가 더욱 증가하여 30%에 이르면 이 ϵ 마르텐사이트가 α 마르텐사이트로 변태하여 이로 인하여 최대의 SCC 저항성을 보이는 것으로 보고하고 있다¹⁵⁾. 본 시험에서는 이들 마르텐사이트의 상분석은 하지 않았으나, 변형유기된 마르텐사이트의 존재는 앞서 Fig. 4의 조직사진에서 명확히 관찰할 수 있었다. 이로부터 30% 이상 냉간가공시킨 시험편의 SCC 저항성의 감소현상은 다음과 같이 설명할 수 있으리라 생각한다. 즉 오스테나이트의 기지조직내에 강한 가공에 의하여 내부에너지가 증가할 뿐 아니라, 많은 양의 마르텐사이트가 형성되어 이들 주위가 SCC에 민감한 부분으로 작용하기 때문이라 생각된다. 다시 말하면 심한 냉간가공으로 과다하게 변형유기된 경질의 제2상인 마르텐사이트 주위에 미소균열이 용이하게 발생하여 SCC 저항성의 감소를 가져온다고 볼 수 있다. 실제로 변형유기된 마르텐사이트 주위에 발생하는 미소균열의 관찰을 파단면 관찰에서 재차 언급하겠다.

3.4 SCC 파단면 관찰

Fig. 7은 냉간가공시킨 각 시험편에 항복응력의 40%에 해당하는 부하응력을 부가하여 SCC 시험을 행한 후, 파단면을 SEM으로 관찰한 사진이다. 0% 가공도의 경우 주로 dimple 형태를 띄고 있으나 가공도가 증가한 10%의 경우 dimple의 크기가 커지면서 미소균열이 간혹 관찰되었다. 이는 앞서의 SCC에 민감한 변태유기마르텐사이트의 상생성에 기인한 SCC 저항인자로 작용하는 현상으로 생각된다¹⁶⁾. 더우기 20%, 25% 냉간가공시킨 시험편의 경우, 파단면의 형태는 20% 냉간가공시킨

시험편의 경우인 사진(c)에서는 dimple의 형상은 커졌고, 파단면내에서 균열은 관찰되지 않았으나 다소 quasi-cleavage한 형태로 변화하는 것을 관찰할 수 있으며, 사진(d)의 25%의 경우와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 가공도가 30%, 40%로 커질수록 시험편의 파단면(사진(e), (f)의 경우)은 파단면에 많은 표면균열이 관찰되어지며, 파단면은 주로 quasi-cleavage한 brittle 파단면으로 관찰되었고, 냉간가공도가 클수록 파단면에서 미소균열의 관찰은 보다 용이하였다. 특히 40% 냉간가공시킨 SCC 파단면의 경우 경질 2상인 변형유기된 마르텐사이트주위에 파괴가 일어나는 것으로 생각되는 미소균열이 쉽게 관찰, 조사되었다.

Fig. 8은 SCC 시험후 시험편의 균열전파경로를 관찰하기 위하여 냉간가공도가 다른 각 SCC 시험편의 측면을 관찰조사한 광학현미경사진이다. 사진(a)의 0% 시험편에서는 SCC 시험에서 관찰되는 전형적인 입내파괴(transgranular fracture)양상을 나타내고 있으나, 사진(b)의 20% 가공된 시험편부터 입내파괴와 더불어 입계파괴(intergranular fracture)의 혼합양상을 나타나는 것으로 조사되었다. 이는 변형유기된 마르텐사이트조직에 의한 현상으로서, 경한 제2상으로 인하여 균열들이 제2상을 끊고 지나가지 못하고 제2상의 주위로 전파되어 파괴되어 입계파괴를 띠는 결과로 생각된다. 이는 40% 냉간가공시킨 시험편의 사진(c)에서 SCC 시험하지 않은 사진(d)에 비하여 미소균열이 입계면을 따라 전파되어가는 양상을 확연히 볼 수 있다.

이상과 같은 균열전파거동을 냉간가공도와 조직의 관계로부터 재차 고찰하여 보면, 앞서의 Fig. 4에서와 같이 가공도가 커짐에 따라 변형유기된 마르텐사이트의 부피분율은 점차로 커졌으며, 이들은 전위밀도를 가지면서 결정립계에서 먼저 형성되고 가공도의 증가와 더불어 점차 결정립계내로 성장하여 가는 것으로 생각된다. 더우기 오스테나이트 스테인레스강은 낮은 적층결합에너지를 가지기 때문에 가공도가 커짐에 따라 slip면에 많은 전위의 집적(pile-up)을 가져와 이들이 탄화물 석출입자를 trapping시키는 high energy site로 작용할 것이다. 실제로 냉간가공후의 열처리에 의하여 slip면을 따라서 많은 탄화물 석출물이 관찰되었고, 그 형상은 가공도가 클수록 현저하였다. 결국

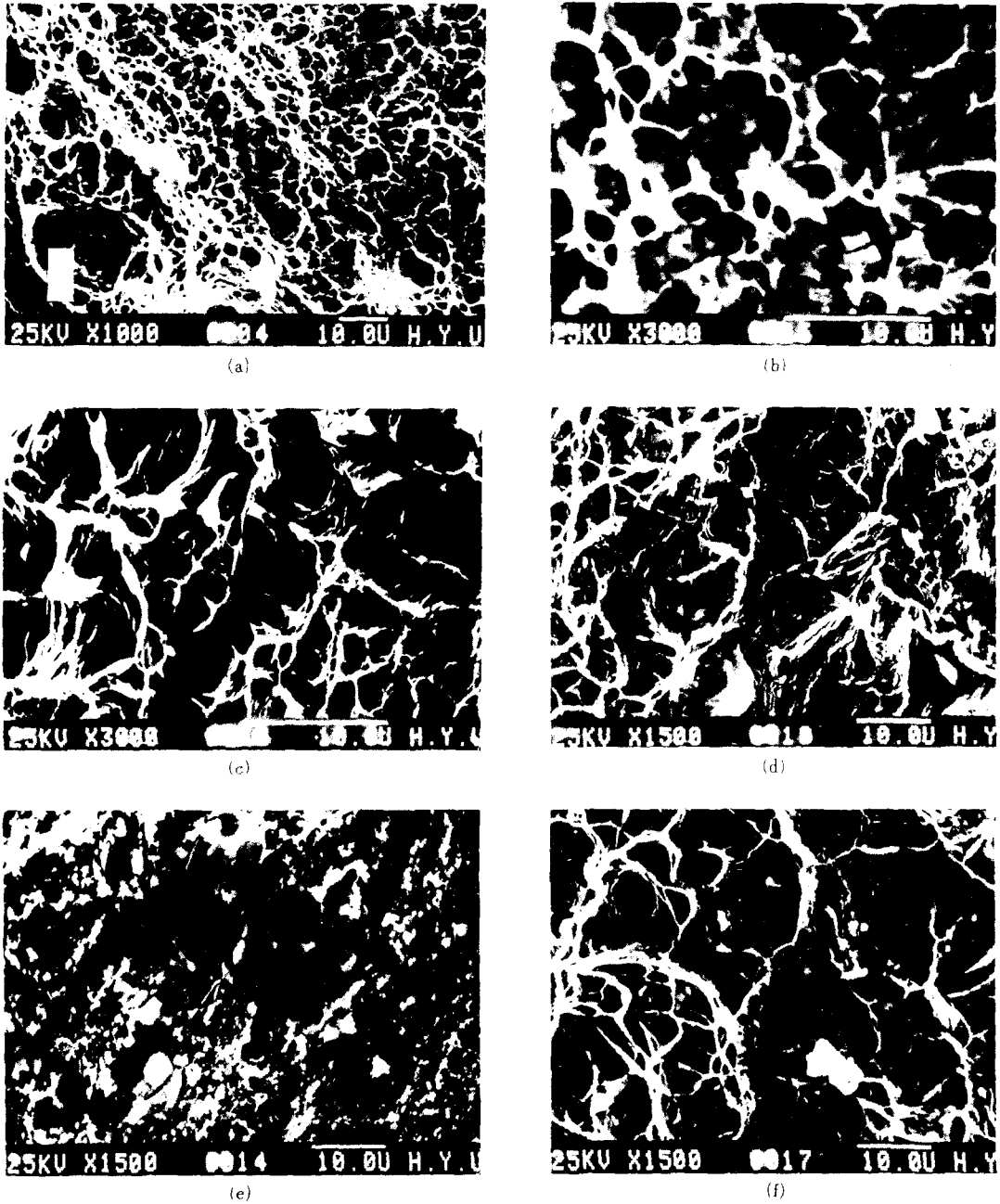


Fig. 7 SEM micrographs of fracture surface at 40% yield stress with the degree of cold work : (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 25%. (e) 30%, (f) 40%

가공도가 큰 40% 냉간가공시킨 시험편에서 SCC의 균열전파거동이 입계균열로 발전하는 것은 이와같은 slip면상의 전위집적에 기인하는 것으로 생

각할 수 있다. Fig. (d)는 40% 냉간가공시킨 시험편에서 파단되기전 하중을 제거하여 인위적으로 파단시켜 균열의 전파를 관찰한 사진으로서, 사진

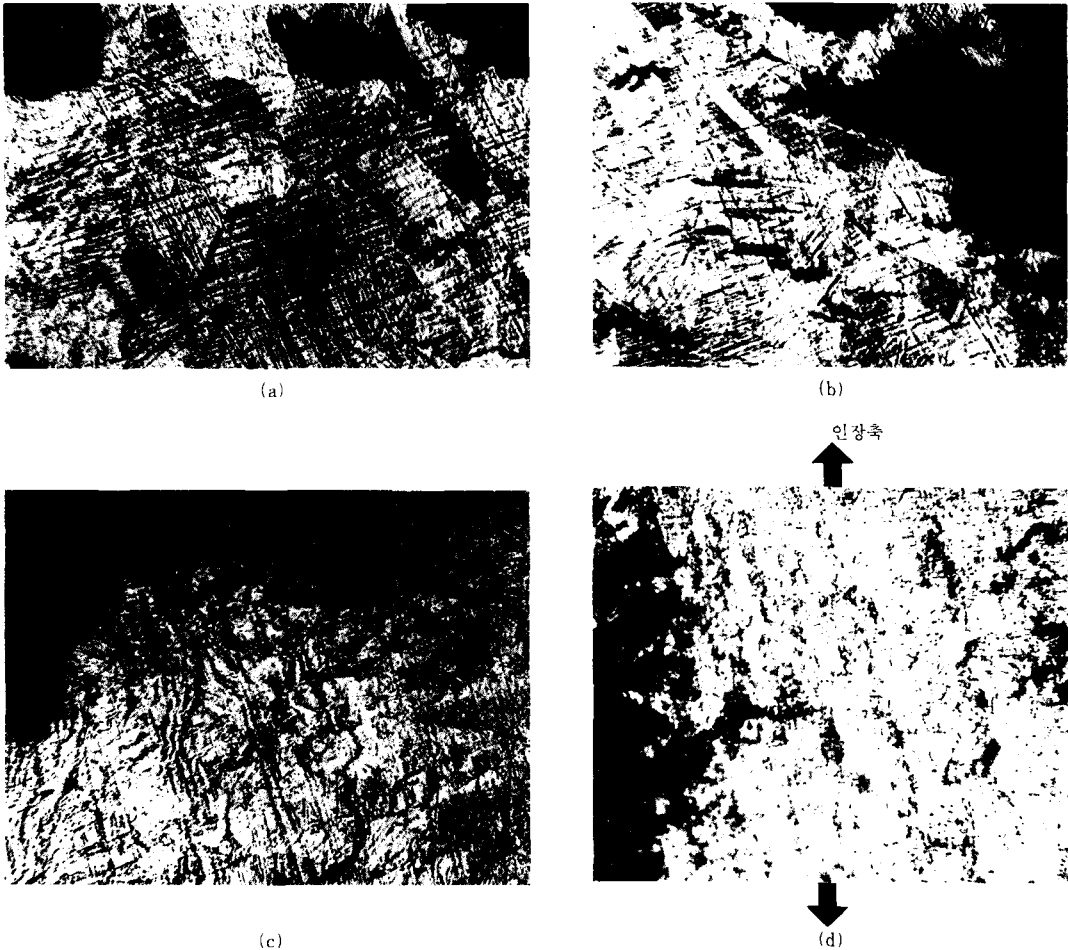


Fig. 8 Optical micrographs of micro-crack propagation morphology with S. C. C test :
 (a) 0%, (b) 20%, (c) 40%, (d) 40% (non-scc test) (×200)

에서 볼 수 있는 바와 같이 인장축에 수직인 방향으로 보다는 인장축에 평행한 방향에서 많은 균열이 관찰, 조사되었으며, 이러한 결과로부터 SCC 파단거동은 전위들의 집적에 따른 조직의 내부에서부터 미소균열이 발생, 전파되어 종국에는 SCC 파단으로 진행되는 것으로 생각할 수 있겠다.

4. 결 론

STS 304 스테인레스강의, 116°C~120°C 42% 염화마그네슘 용액내에서의 SCC 거동에 미치는 냉간가공의 영향에 관한 본 연구에서 얻은 결론은

다음과 같다.

- 1) 냉간가공도가 SCC 저항성에 미치는 영향은 준안정 오스테나이트의 변형유기된 마르텐사이트의 조직변태에 기인한 것으로서, 변형유기된 마르텐사이트의 부피분율이 SCC 저항성에 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다.
- 2) 냉간가공도에 따른 SCC 저항성에서, 20% 냉간가공시킨 시험편이 가장 좋은 SCC 저항성을 나타내었으나, 30% 이상의 냉간가공에서는 SCC 저항성이 오히려 감소하였다. 이는 제2상인 변형유기된 마르텐사이트의 다량의 부피분율로 인하여 경질 제2상 주위에 응력장을 형성

시켜 미소균열을 발생시키기 때문이라 생각한다.

- 3) SCC를 가져오는 균열은 0%의 가공도에서는 입내균열로 20%이상의 가공도부터는 혼합균열(입계균열+입내균열)로 나타나다가, SCC 저항성이 떨어지는 40% 가공도에서는 주로 입계균열로 전파되어 간다. 이는 변형유기마텐사이트와 slip면을 따라 증가된 전위밀도의 영향에 의한 SCC 파괴현상에 기인한다고 사려된다.

참 고 문 헌

- 1) H. R. Copson and C. F. Cheng : Some Case Histories of Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels Associated with Chlorides. Corrosion, Vol. 13, No. 6, (1957) 397t.
- 2) C. L. Briant : Hydrogen Assisted Cracking of Type 304 Stainless steel, Metallurgical Trans. A, Vol. 10A, (1979) 181.
- 3) M. Chigasaki and K. Soeno : Effect of Cold Working and Annealing on Intergranular Corrosion of Metastable and Stable Austenitic Stainless Steel, 鐵と鋼, 64 (1978) 1363.
- 4) T. Akiyama and T. Terasaki : Prediction of Sensitization and Low Temperature Sensitization(LTS) to the Intergranular Corrosion of Austenitic Stainless Steel, 日本金屬學會誌, 52(1988) 327.
- 5) H. H. Uhlig and R. A. White : SOME METALLURGICAL FACTORS AFFECTING STRESS CORROSION CRACKING OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS, Trans. ASM, 52 (1960) 830.
- 6) S. S. Birley and D. Thomans : Stress Corrosion Cracking of 304L Austenitic Steel and the Martensite Transformation, Corrosion, Vol. 27, No. 2, (1971) 63.
- 7) S. Pednekar, S. Smialowska : The Effect of Prior Cold Work on the Degree of Sensitization in Type 304 Stainless Steel, Corrosion Vol. 36 (1980) 565.
- 8) C. S. Tedmon D. A. Vetmilyea : Effect of Cold Work on Intergranular Corrosion of Sensitized Stainless Steel, Corrosion, Vol. 27 (1971) 104.
- 9) F. C. Hull : Effects of Composition on Embrittlement of Austenitic Stainless Steels, Weld. J., (1973) 104.
- 10) Robert F. Mehl : Metals handbook, pp. 135~137.
- 11) W. L. Clarke, G. M. Gordon : Investigation of Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Fe-Ni-Cr Alloys in Nuclear Reactor Water Environments, Corrosion, Vol. 29, (1973) 1.
- 12) 久松教弘, 小川洋之 : 스테น레스鋼의局部腐食-第2部 粒界腐食, 鐵と鋼, 63(1977) 585.
- 13) J. H. G. Mony penny : Stainless Iron and Steel Vol. 1 (1951).
- 14) V. L. Barnwell, J. R. Myers, R. K. Saxer : Effect of Grain Size on Stress Corrosion of Type 302 Austenitic Stainless Steel, Corrosion, Vol. 22, No. 9, (1966) 261.
- 15) 川端, 西澤, 西村 : 18-8 스테น레스鋼線の應力腐食割れにおよぼす冷間引抜加工とアルミニウムめつきの影響, 鐵と鋼, 61 (1975) 1054.
- 16) D. A. Vaughan, D. I. Phalen, C. L. Peterson, W. K. Boyd : Relationship between Hydrogen Pickup and Susceptible Paths in Stress Corrosion Cracking of Type 304 Stainless Steel, Corrosion, Vol. 19 (1963) 315t.