

표면가공법에 따른 현가장치재의 부식특성에 관한 연구

박경동* · 류형주

부경대학교 기계공학부

A Study on Corrosion Characteristics of Suspension Material by Surface Processing

Keyoungdong Park* · Hyoungjoo Ryu

Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
(Received 5 August 2004 / Accepted 8 March 2005)

Abstract : In this study, the high strength and superior toughness spring steels as the suspension material, used for automobile and railroad industries were utilized to carry out the following investigations. Corrosion times were controlled in 7, 14, 30 and 60days to examine the relation between corrosion pit and compressive residual stress in the static corrosion environment after shot peened. And then corrosion current and corrosion potential were measured for every 24 hours to investigate the corrosion mechanism. Shot peened material shows the low or rate of corrosion current as compared with unpeened material. In case of hot peened material which has the highest residual stress, it has a low corrosion current density.

Key words : Heat treatment(열처리), Deaeration(탈기), Compressive residual stress(압축잔류응력), Corrosion potential(부식전위)

1. 서론

기계재료의 피로파괴는 환경에 따른 강도, 부식과 더불어 재료의 수명을 단축하고, 구조물의 내구연한을 결정짓는 결정적인 사항이다.¹⁾

기계재료의 피로파괴 방지를 위한 무척 오랜 연구에도 불구하고 현재 피로파괴의 보고는 계속되고 있다. 특히 현대에 와서 최적 설계 개념이 도입되고 경량화 추세가 진행됨에 따라 상대적으로 기계재료의 안전율이 낮아지게 되어 설계시에 예측하지 못했던 결함이 제품 내에 잠재하고 있는 경우, 그 결함이 변동하중에 의해 성장할 수 있기 때문에 피로파괴에 매우 취약하게 된다.

구조물 중의 결함은 반복하중이나 부식성 환경, 고온 환경하에서 안정하게 성장하여 관통누설이나 급속파단에 이르는 경우가 있고, 이러한 피로파괴나 환경파괴에서 보여지는 균열의 안정성장 특성을 해석·평가하기 위한 유력한 방법으로 파괴역학에 대해 활발한 연구가 진행되고 있다.²⁾

그 중에서도 부식은 선체 기관, 보일러, 옥외구조물, 한 대지방 및 열대지방 자동차 등에서 완만하게 일어나며 철 생산량의 약 10~20%가 부식에 의해 소모되고, 경제적 손실로는 전 세계에서 연간 약 5×10^{10} \$에 달하고 있다. 이 손실에는 부식에 의해 파손된 장치의 자본금과 수리비, 교환비, 부식으로 파손된 제품비 등의 직접적 손실 이외에도 부식 때문이나 안정성 때문에 내식성의 고가재료를 사용하

*To whom correspondence should be addressed.
parkkd@pknu.ac.kr

거나 필요이상의 고강도 재료를 사용해야 하는 과잉설계에 따르는 자본금, 부식에 의해서 장치나 기계, 기관의 효율저하에 따르는 손실비등 눈에 띄이지 않는 간접적인 손실도 많다.³⁾

본 실험에서는 이러한 부식에 의한 손실들을 줄이고, 아울러 자동차 현가장치 스프링에 사용되는 쇼트피닝재(SUP-9)와 핫피닝재(DIN 50CrV₄)의 부식특성을 비교, 검토하여 표면가공법이 재료의 부식에 미치는 영향을 연구함으로써 자동차의 안전설계에 기여하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시험편

본 연구에 사용된 시험편은 자동차 및 철도차량 현가장치에 사용되고 있는 SUP-9강과 SUP-9강보다 소입성(Hardenability) 효과가 좋아 이용가치가 높은 DIN 50CrV₄강이다. Table 1에 열처리를 가한 재료의 기계적 성분을, Table 2에 화학적 성질을 나타내었다. 시험편의 형상과 치수는 Fig. 1과 같고, Fig. 2와 같은 조건으로 가공하였다.

일반적인 쇼트피닝의 프로세서(process)는 가열-오일퀀칭-템퍼링-워터쿨링-쇼트피닝의 순으로 진행되고, 핫피닝의 프로세서는 가열-오일퀀칭-템퍼링-재가열-쇼트피닝-워터쿨링으로 진행된다.

핫피닝의 재가열에 있어서는 여러 가지 온도를 적용해 본 결과 300°C로 온도를 고정하여 가열하는 것이 최적인 상태로 확인되었으며, 20분동안 재차가열하였다.

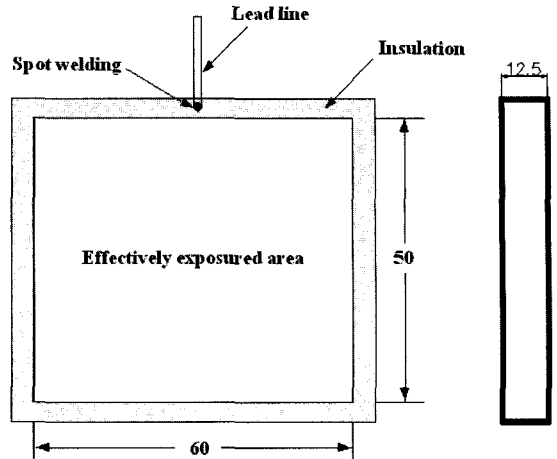


Fig. 1 Shape and dimension of specimen(unit:mm)

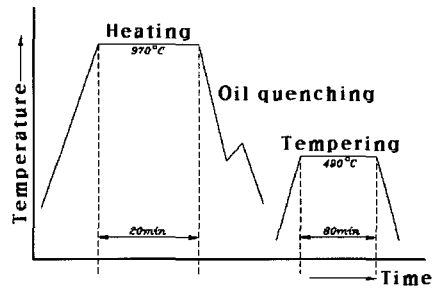


Fig. 2 Condition of heat-treatment

시험편의 유효노출면적은 60×50mm로 하였고, 나머지 면적은 실리콘 수지로 피복절연 시켰다.

2.2 실험장치 및 방법

시험편 표면의 압축잔류응력을 알아보기 위해 X-선 잔류응력측정기(RIGAKN-MASF2M)를 이용하였으며, 측정조건은 Table 3과 같다.⁴⁾

Table 1 Mechanical properties of specimen

Material	Tensile strength (MPa)	Hardness(HrC)		Elongation (%)
		After quenching	After tempering	
SUP-9	1350	57	44	9.4
50CrV ₄	1795	55	50	9.4

Table 2 Chemical composition of specimen (wt.%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
SUP-9	0.56	0.25	0.84	0.016	0.009	0.88	-
50CrV ₄	0.50	0.27	0.82	0.02	0.005	0.10	0.117

Table 3 Measuring condition of residual stress

X-Ray Diffraction	Condition	
	X-ray Source	Target
	Voltage	30kV
	Current	10mA
Φ	0°, 15°, 30°, 45°	
2θ	140°~ 170°	
Diffraction	Scintillation Counter	

부식환경으로서는 탈기(Deaeration)처리하지 않은 3.5% NaCl수용액(pH 8)을 사용하여 매 24시간마다 1회씩 부식전위와 부식전류를 측정하였고, 시험 완료 후 무게 감소량을 측정하였다. Photo. 1은 부식전위와 부식전류를 측정하기 위한 장치이고, Photo. 2는 분극측정 장치(EG&G, 273potentiostat)이며, 시험편의 유효노출면적을 10×10mm로 하여 표면을 경면연마 시켰다. 분극시험시 주사속도(Scan rate)는 0.167mV/sec로 하였다(ASTM G5-87).

침지시험의 부식용액으로는 3.5% NaCl 수용액(pH8)을 사용하였고, 실험기간은 7, 14, 30, 60 일로 실시하였다.

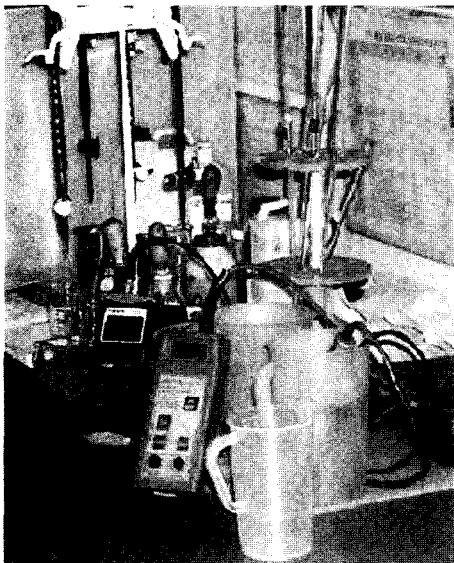


Photo. 1 Measuring apparatus for corrosion potential measure

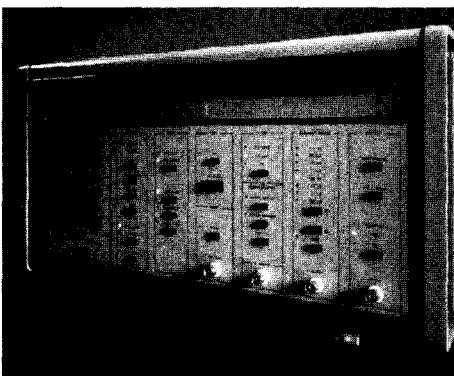


Photo. 2 Measuring apparatus for polarization measure (EG&G, 273potentiostat)

분극시험은 재료 당 3개의 시험편을 시험하여 그 중 평균에 해당하는 data를 사용하였고, 양극분극시험으로 하였으며, 부식용액으로는 3.5% NaCl 수용액(pH8)을 사용하였다. 측정기의 기준전극은 포화 카르멜 전극(Saturated Calomel Electrode; SCE), 상대전극은 2개의 고밀도 탄소봉을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축잔류응력 분포

Fig. 3은 쇼트피닝 처리한 SUP-9강과 핫피닝 처리한 50CrV4강의 부식시험 전의 압축잔류응력의 분포를 나타내고 있다.

쇼트피닝 시험편의 최대잔류응력 발생위치는 표면으로부터 약 0.13mm내측으로서 657.05MPa의 압축잔류응력이 일어났다. 이후 점차 압축잔류응력이 감소하여 표면으로부터 내측 약 0.3mm까지 압축잔류응력이 분포하고 있음을 알 수 있다. 그리고 핫피닝 시험편이 쇼트피닝 시험편에 비해서 더 높은 압축잔류응력이 분포하고 있음을 알 수 있는데, 핫피닝한 시험편의 경우 표면으로부터 약 0.14mm내측에서 931.63MPa의 최대압축잔류응력이 발생하였고, 이후 점차 감소하여 내측 약 0.3mm까지 압축잔류응력이 분포하고 있다. 이것은 핫피닝시 표면부의 조직이 연화되어져 소성변형능력이 향상되고 쇼트볼의 충돌시에 더 큰 압축잔류응력을 형성했기 때문으로 판단된다.

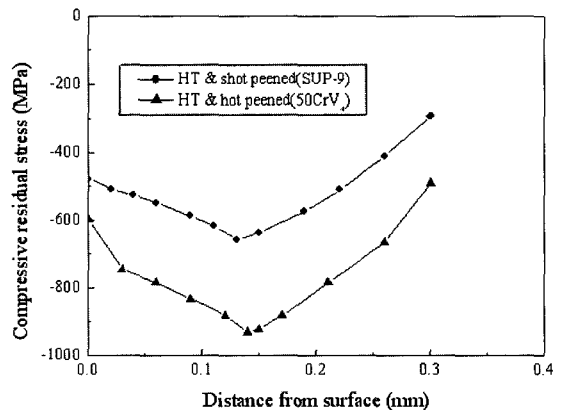


Fig. 3 Compressive residual stress distribution of shot peened SUP-9 and 50CrV4 steel before immersion test

Fig. 4는 60일간 탈기(deaeration)처리하지 않은 3.5% NaCl수용액에서 부식시험을 실시한 후의 압축잔류응력을 측정된 것이다.

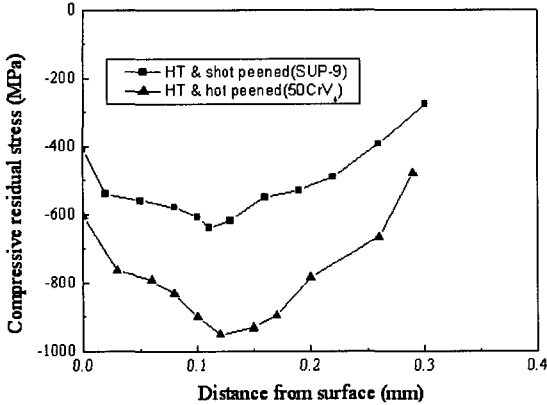


Fig. 4 Compressive residual stress distributions of shot peened SUP-9 and 50CrV4 steel after immersion test during 60 days

쇼트피닝 시험편의 경우 최대 압축잔류응력은 0.115mm 내측으로 630MPa 정도로 유지하였다. 그 이후부터 0.3mm까지는 부식전과 유사하였다. 쇼트피닝 시험편의 부식전후를 정리하면 부식 후 압축잔류응력의 크기는 27.05MPa만큼 감소하고, 박리량은 0.011mm 정도인 것을 알 수 있다.

핫피닝 시험편의 경우 최대 압축잔류응력이 0.12mm 내측으로 930MPa 정도로 유지하였다. 그 이후부터 약 0.3mm까지는 부식전과 변화가 없었다. 핫피닝 시험편의 부식전후를 정리하면 부식 후 압축잔류응력의 크기는 1.63MPa 만큼 감소하고, 박리량은 0.02mm 정도인 것을 알 수 있다.

Table 4는 시험편의 각각 부식전후 깊이와 압축잔류응력을 비교한 것이다.

Table 4 Compare before corrosion with after corrosion

Material	Before corrosion		After corrosion	
	Depth (Max)	Compressive residual stress	Depth (Max)	Compressive residual stress
SUP-9	0.13mm	657.05 MPa	0.119mm	630 MPa
50CrV4	0.14mm	931.63MPa	0.12mm	930MPa

3.2 분극특성의 변화

Fig. 5는 각 시험편의 분극곡선을 나타낸다. 각 시

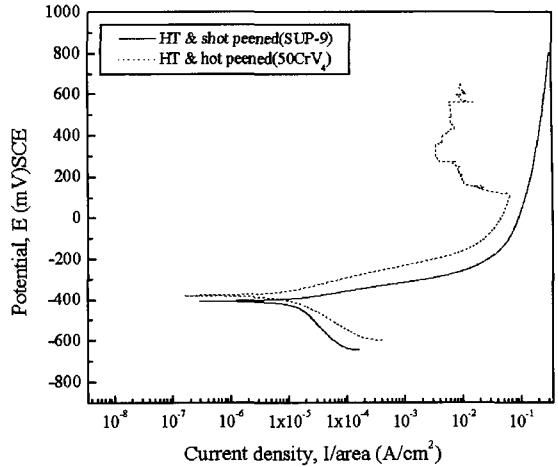
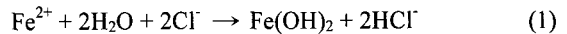


Fig. 5 Polarization curves of shot peened and hot peened specimen

험편의 부식전위(E_{corr}) 및 부식전류밀도(I_{corr})는 Tafel외삽법⁵⁾을 이용하여 구하였다.

Fig. 5를 통해 알 수 있듯이 압축잔류응력이 높게 나타났던 핫피닝 시험편은 부식전류밀도값이 9.0×10^{-6} , 부식전위가 -375 (mV)SCE로 쇼트피닝의 부식전류밀도값 1.3×10^{-5} (A/cm²)과 부식전위 -400 (mV)SCE에 비해 낮게 나타났다. Potential이 높아질수록 핫피닝 시험편이 더 많은 전류가 흐름을 알 수 있으며, 이는 3.5% NaCl용액에서 Cl⁻ 이온이 철원소와의 직접적 반응에 의해 전류가 증가된 것으로 판단되며, 그 반응식은 아래와 같다.⁶⁾



3.3 부식전위의 변화

Fig. 6은 탈기처리하지 않은 3.5% NaCl 수용액 중에서 30 및 60일 동안 침지시켜 매 24시간마다 1회씩 측정된 부식전위의 변화를 나타내고 있다.

쇼트피닝 한 시험편의 경우 대체로 자연전위보다도 (+)측 방향의 전위를 나타내고 있다. 이것은 쇼트피닝에 의한 압축층이 연속적으로 분포하고 있으면서 압축잔류응력의 증가로 인해 부식에 대한 민감성이 감소하였기 때문으로 생각한다. 그리고 최초 응력을 가진 상태에서는 부식의 진행이 더 빠르게 나타나지만, 오히려 이로 인해 부식생성물의 형성이 빨라져 이 부식생성물이 보호피막으로 작용하기

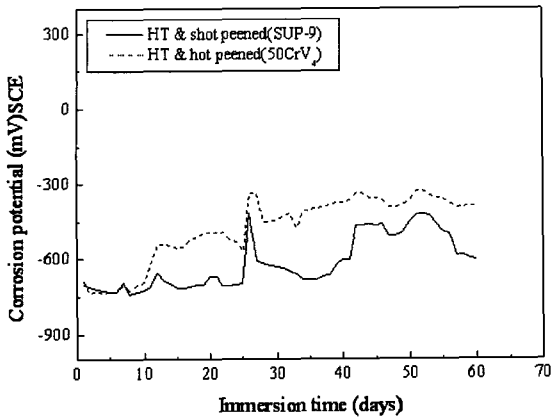


Fig. 6 Corrosion potential versus immersion time of shot peened and hot peened specimens as immersed in 3.5% NaCl

때문에 자연전위보다도 (+)측 방향의 전위를 나타낸다고 생각된다.⁷⁻⁹⁾

핫피닝 시험편의 경우 가장 (+)측 방향으로 부식 전위를 형성하고 있다. 핫피닝 시험편의 재료인 50CrV₄강은 바나듐(Vanadium)을 소량 함유하고 있는데, 이 바나듐은 NaCl 용액 속에서 18%Cr 페라이트강의 공식전위를 (+)측 방향으로 상승시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 핫피닝 시험편이 (+)측 방향으로 부식전위가 나타나는 것은 첨가원소 중 바나듐에 의한 방식효과 때문으로 생각된다.^{10,11)}

3.4 무게감소량 및 부식속도

Fig. 7은 7, 14, 30, 60일 동안 침지시험을 실시하여 무게감소량을 측정 한 것이다. 시험전에 중량을 미리 측정하고, 시험 후 부식생성물을 완전히 제거한 후에 측정 한 중량과 비교하였다.

열처리 후 쇼트피닝한 시험편과 핫피닝한 시험편은 시간의 경과와 함께 다소 중량감소량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 시간의 경과와 더불어 쇼트피닝층이 용해되어져 최초로 형성되었던 압축잔류응력이 낮게 형성된 내부로 갈수록 점점 부식에 민감하게 반응하였기 때문으로 생각된다. 이는 압축잔류응력이 가장 크게 나타났던 핫피닝에서 일직선 형태의 증가를 보이는 것과 일치한다.^{12,13)}

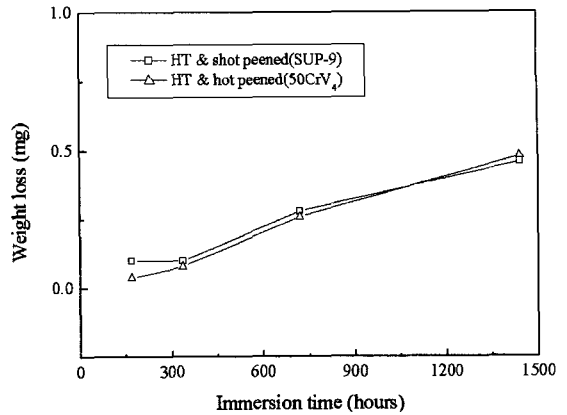


Fig. 7 Weight loss versus immersion time of shot peened and hot peened specimens as immersed in 3.5% NaCl

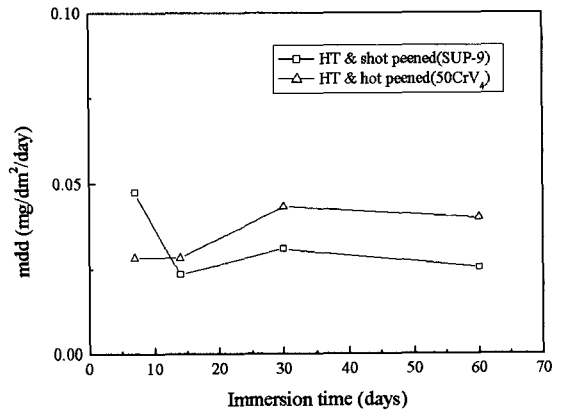


Fig. 8 Corrosion rate, mdd versus immersion time of shot peened and hot peened specimen as immersed in 3.5% NaCl

Fig. 8은 Fig. 7의 무게감소량을 부식속도로 나타낸 것이다. 종축에는 mdd(mg/dm²/day)를 나타내었고, 횡축에는 Immersion time을 나타내었다.

쇼트피닝 시험편과 핫피닝 시험편 둘 다 시간이 경과할수록 부식속도는 거의 일정하며, 근소한 차이의 값을 나타내었다. 단, 14~30일간의 침지기 동안에 두 시험편 모두 약간 부식속도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 쇼트피닝 가공에 의해 생성된 압축잔류응력층이 용해되어 부식이 활성화된 것으로 판단된다.

3.5 부식면 관찰

Fig. 9는 각각의 시험편을 7일, 14일, 28일, 56일 동

안 침지시킨 후 부식표면을 SEM으로 촬영한 것이다.

부식 초기에 쇼트피닝 시험편과 핫피닝 시험편 둘 다 표면이 거칠어진 것을 알 수 있는데, 이것은 부식에 의해서라기 보다는 피닝에 의한 것으로 판단된다. 특히 핫피닝 시험편의 경우 표면의 요철이 가장 심한 것을 알 수 있는데, 이것은 핫피닝이 압축 잔류응력이 가장 크다는 Fig. 4의 결과와 일치한다.

4. 결론

표면가공법에 따른 현가장치재(SUP-9, 50CrV4)의 부식특성에 관하여 실험적으로 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 핫피닝 시험편이 쇼트피닝 시험편보다 압축잔류응력이 더 높에 나타났으며, 이는 핫피닝시 열에 의해 표면이 연화되어 쇼트볼에 의한 소성변형이 더 커졌기 때문으로 판단된다.
- 2) 부식전위 실험에서 쇼트피닝 시험편은 초기의 빠른 부식이 오히려 보호피막을 만들어 방식작용을 하는 것으로 생각되며, 핫피닝 시험편의 경우는 쇼트피닝과 유사한 작용과 아울러, 소량 함유되어 있는 바나듐(Vanadium)이 방식작용을 하여 쇼트피닝보다 더 (+)측 방향으로 부식전위가 나타난다고 판단된다.
- 3) 부식면 관찰에서 핫피닝의 경우처럼 표면의 요

철이 심한 경우, 피로하중을 고려한 설계강도에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 지정 부경대학교 친환경 첨단에너지기계연구센터의 지원(과제번호 : R12-2003-001-02)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

References

- 1) K. D. Park and C. G. Jung, "The Effect of Compressive Residual Stresses of Two-stage Shot-peening for Fatigue Life of Vehicle Spring Steel," Transactions of the KSAE, Vol.11, No.1, pp.185-192, 2003.
- 2) C. G. Jung and K. J. Ha, "A Study on the Characteristics of Compressive Residual Stresses at Elevated Temperature," International Shot Peening Conference, pp.25-31, 2002.
- 3) C. J. Park and H. S. Kwon, "Effects of Aging at 475°C on Corrosion Properties of Tungsten Containing Duplex Stainless Steels," Corrosion Science, Vol.44, pp.2817-2830, 2002.
- 4) ASTM, "Standard Test Method for Determining The Effective Elastic Parameter for X-ray

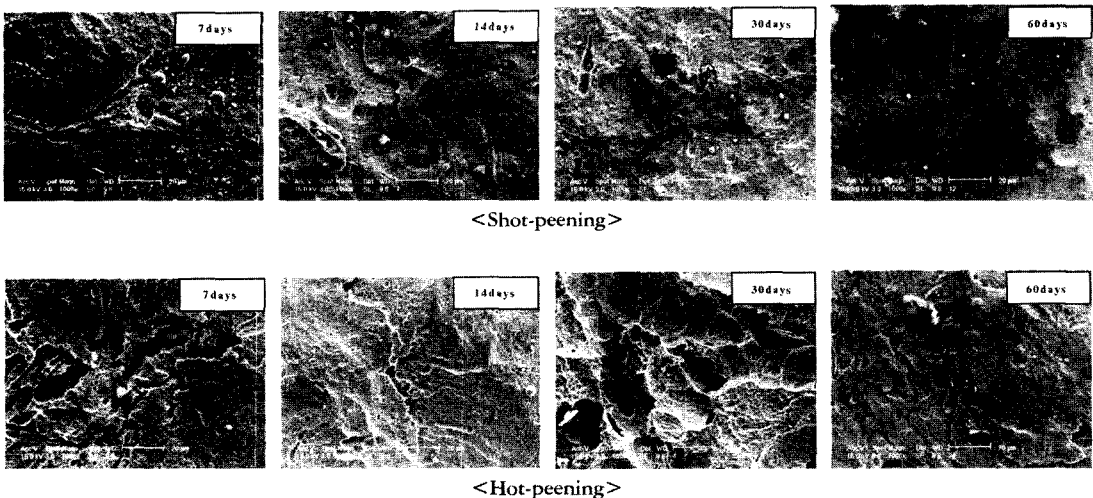


Fig. 9 SEM photographs of corroded surface for 7 days, 14 days, 30 days and 60 days

- Diffraction Measurement of Residual Stress," ASTM E 1426-94, pp.932-935, 1994.
- 5) M. G. Fontana, Corrosion Engineering, 3rd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
 - 6) D. A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion 2nd Edition, Prentice Hall Company, New Jersey, 1995.
 - 7) Y. S. Lim, J. S. Kim, S. J. Ahn, H. S. Kwon and Yasuyuki Katata, "The Influence of Microstructure and Nitrogen Alloying on Pitting Corrosion of Type 316L and 20 wt.% Mn-substituted Type 316L Stainless Steels," Corrosion Science, Vol.43, No.1, pp.53-68, 2001.
 - 8) H. S. Kwon, R. F. Hehemann and A. R. Troiano, "Critical Cracking Potentials of 26Cr-1Mo Ferritic Stainless Steels," Corrosion Science, Vol.48, pp.838-845, 1992.
 - 9) Y. S. Li, Y. Niu and W. T. Wu, "Accelerated Corrosion of Pure Fe, Ni, Cr and Several Fe-based Alloys Induced by ZnCl₂KCl at 450°C in Oxidizing Environment," Material Science and Engineering, Vol.345, pp.64-71, 2003.
 - 10) W. Luo, "The Corrosion Resistance of Cr19Ni9 Stainless Steel Arc Welding Joints with and without Arc Surface Melting," Materials Science and Engineering, Vol.345, pp.1-7, 2003.
 - 11) J. X. Guo, J. X. Li, L. J. Qiao, K. W. Gao and W. Y. Chu, "Stress Corrosion Cracking and Hydrogen-induced Cracking of Amorphous Fe 74.5Ni10Si3.5B9C2," Corrosion Science, Vol. 45, pp.735-745, 2003.
 - 12) D. A. Lopez, A. W. H. Schreinerb, S. R. de Sancheza and S. N. Simisona, "The Influence of Carbon Steel Microstructure on Corrosion Layers an XPS and SEM Characterization," Applied Surface Science, Vol.207, pp.69-85, 2003.
 - 13) K. Y. Lee, D. H. Bae, S. C. Park, W. U. Jung, "Evaluation of Corrosion Fatigue Strength of the Automobile's Coil Spring," KSAE03-F0188 Vol. II, pp.1216-1220, 2003.