

표면처리법에 따른 SUP-9/50CrV₄의 부식특성에 관한 연구

정재욱[†] · 박경동^{*}

A Study on Corrosion Characteristics of SUP-9/50CrV₄ by Surface Processing

Jaewook Jung, Kyungdong Park

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

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.

1. 서 론

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

현가장치는 주행중 노면에서 받는 충격이나 진동을 완화시키는 부분으로서 스프링, 축업소버, 고무부싱과 컨트롤 암 등과 같은 요소로 구성되어 있으며, 여러 형식에 따른 차체 고정장치나, 횡방향이나 길이방향의 힘을 지지하는 링크 등으로 이루어져 있다. 이런 기계재료들은 대부분 여

러 피로환경 가운데 노출되어 있다.

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 판공누설이나 금속파단에 이르는 경우가 있고, 이러한 피로파괴나 환경파괴에서 보여지는 균열의 안정성장 특성을 해석·평가하기 위한 유력한 방법으로 파괴역학에 대해 활발한 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 부식은 선체 기관, 보일러, 옥외구조물, 한 대지방 및 열대지방 자동차 등에서 완만

[†] 부경대학교 기계공학부

E-mail : parkkd@pknu.ac.kr

TEL : (051)620-1592 FAX : (051)620-1592

^{*} 부경대학교 기계공학부

하게 일어나며 전 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 손실이외에도 부식 때문이나 안정성 때문에 내식성의 고가재료를 사용하거나 필요이상의 고강도 재료를 사용해야 하는 과잉설계에 따르는 자본금, 부식에 의해서 장치나 기계, 기관의 효율저하에 따르는 손실비등 눈에 띄이지 않는 간접적인 손실도 많다.

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 효과가 좋아 이용가치가 높은 DIN 50CrV₄강이다.

시험편의 형상과 치수는 Fig. 1과 같고, Fig. 2와 같은 조건으로 가공하였다.

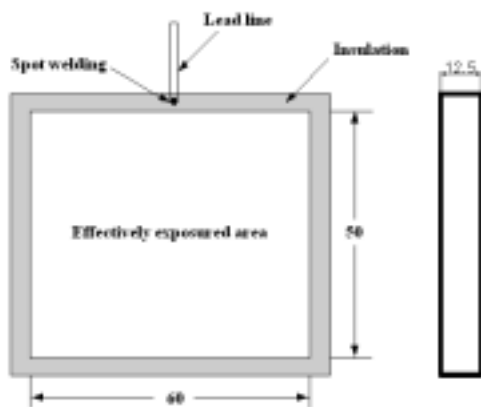


Fig. 1 Shape and dimension of specimen (unit:mm)

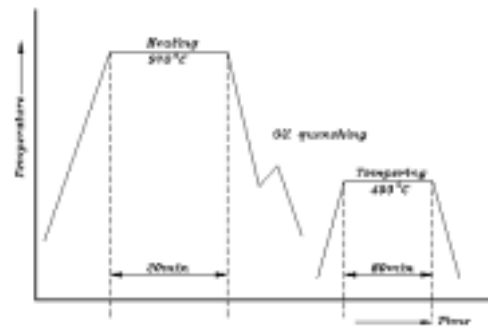


Fig. 2 Condition of heat treatment

Table 1에 열처리를 가한 재료의 기계적 성분을, Table 2에 화학적 성질을 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of specimen

Material	Tensile strength (MPa)	Hardness(Hc)		Elongation (%)
		After quenching	After tempering	
SUP-9	1350	57	44	9.4
50CrV4	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

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 재차 가열하였다.

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

2.2 실험장치 및 방법

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 장치이다. 시험편의 유효노출면적을 10×10mm로 하여 표면을 경면 연마 시켰다.분극시험시 주사속도는 0.167mV/sec로 하였다.

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

Table 3 Measuring condition of residual stress

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



Photo. 1 Measuring apparatus for corrosion potential measure

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

분극시험은 양극분극시험으로 하였고, 측정기의 기준전극은 포화칼로멜 전극(Saturated Calomel Electrode, SCE), 상대전극은 2개의 고밀도 탄소봉을 사용하였으며, 주사속도는 0.167 mV/sec 로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부식전위의 변화

Fig. 3은 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 압축응이 연속적으로 분포하고 있으면서 압축잔류응력의 증가로 인해 부식에 대한 민감성이 감소하였기 때문으로 생각한다. 그리고 최소 응력을 가진 상태에서는 부식의 진행이 더 빠르게 나타나지만, 오히려 이로 인해 부식생성물의 형성이 빨라져 이 부식생성물이 보호피막으로 작용하기 때문에 자연전위보다도 (+)측 방향의 전위를 나타낸다고 생각된다.

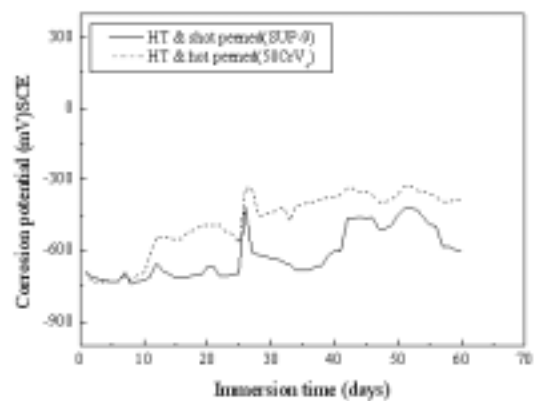


Fig. 3 Corrosion potential versus immersion time of shot peened and hot peened specimens as immersed in 3.5% NaCl

핫피닝 시험편의 경우 가장 (+)측 방향으로 부식전위를 형성하고 있다. 핫피닝 시험편의 재료인 50CrV₄강은 바나듐(Vanadium)을 소량 함유하고 있는데, 이

마나들은 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 마나들에 의한 방식효과 때문으로 생각된다.

3.2 압축잔류응력 분포

Fig. 4는 쇼트피닝 처리한 SUP-9강과 핫피닝 처리한 50CrV₄강의 부식시험 전의 압축잔류응력의 분포를 나타내고 있다.

핫피닝한 시험편의 경우 표면으로부터 약 0.14 mm내측에서 최대압축잔류응력이 발생하였고, 이후 점차 감소하여 내측까지 약 0.3 mm까지 압축잔류응력이 분포하고 있음을 알 수 있다.

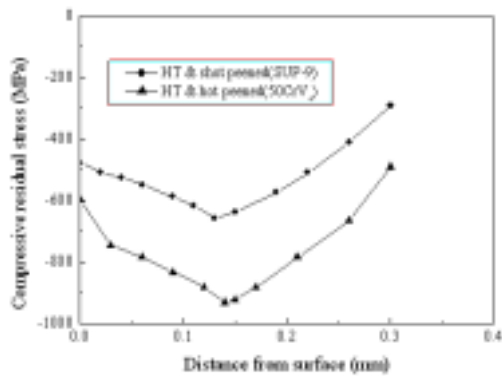


Fig. 4 Compressive residual stress distribution of shot peened SUP-9 and 50CrV₄ steel before immersion test

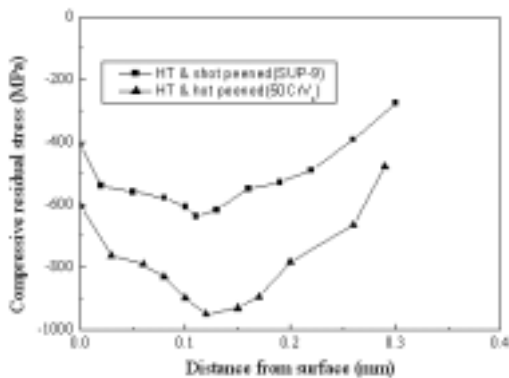


Fig. 5 Compressive residual stress distributions of shot peened SUP-9 and 50CrV₄ steel after immersion test during 60 days

Fig. 5는 60일간 탈기(deaeration)처리하지 않은 3.5% NaCl수용액에서 부식시험을 실시한 후의 압축잔류응력을 측정된 것이다.

쇼트피닝 시험편의 경우 최대 압축잔류응력은 0.115 mm 내측으로 630 MPa 정도로 유지하였다. 그 이후부터 0.3 mm까지는 부식전과 유사하였다.

핫피닝 시험편의 경우 최대 압축잔류응력이 0.12 mm 내측으로 930 MPa 정도로 유지하였다. 그 이후부터 약 0.3 mm까지는 부식전과 변화가 없었다.

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

3.3 분극특성의 변화

Fig. 6은 각 시험편의 분극곡선을 나타낸다. 각 시험편의 부식전위 및 부식전류밀도는 Tafel 외삽법을 이용하여 구하였다.

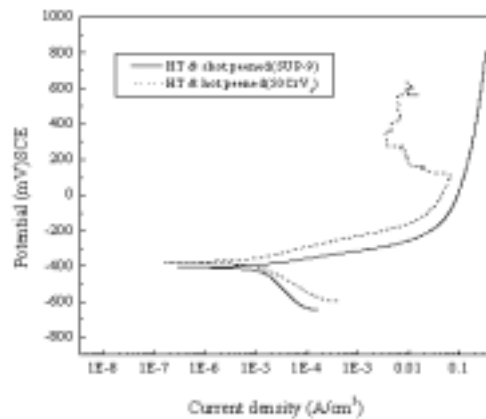


Fig. 6 Polarization curves of shot peened and unpeened specimen

Fig. 6을 통해 알 수 있듯이 압축잔류응력이 가장 높게 나타났던 핫피닝 시험편은 쇼트피닝 시험편에 비해 부식전류밀도값이 가장 낮게 나타났다.

쇼트피닝 시험편의 경우, 쇼트피닝 처리된 표면부가 쇼트피닝 효과가 미치지 않는 기지재인 내부 모재에 비해 더 활성(active)인 상태에 놓여져 기지재를 방식하는 효과를 나타내고 있기 때문이라고 생각하며, 핫피닝 시험편의 경우, 명확하지는 않으나 부동태의 양상이 나타나고 있다.

3.5 부식면 관찰

Fig. 7은 각각의 시험편을 7일, 14일, 30일, 60일 동안 침지시킨 후 부식표면을 SEM으로 촬영한 것이다.

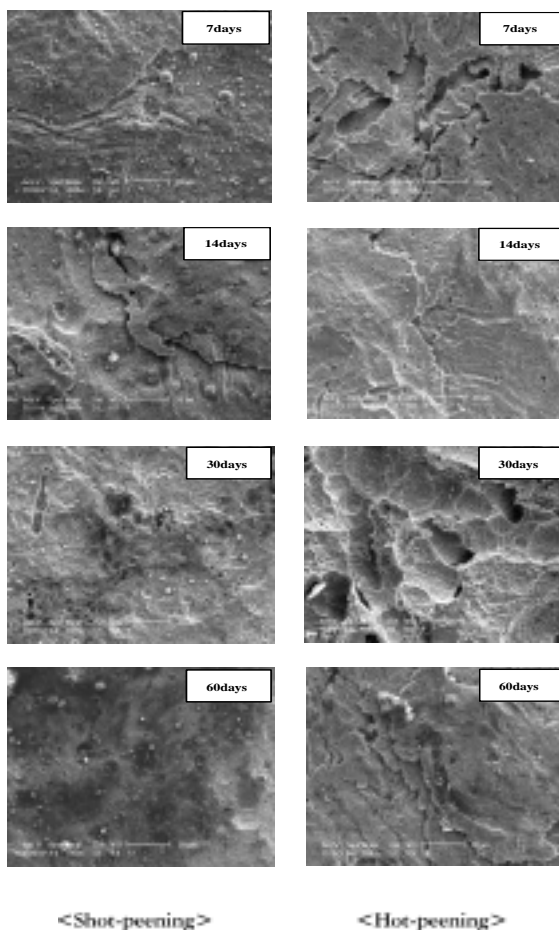


Fig. 6 SEM photographs of corroded surface for 7 days, 14 days, 30 days and 60 days

초기에 쇼트피닝 시험편과 핫피닝 시험편 둘 다 표면이 거친 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 압축잔류응력이 가장 크다는 Fig. 5의 결과와 일치한다.

시간이 지날수록 부식정도가 심해 표면 요철이 심해지고 부분적으로 부식피트가 많이 생성되고 있음을 알 수 있으며 이는 Fig. 6에서 설명한 분극특성의 영향으로 부식전위가 큰 활성화된 (-)측 방향으로 나타나기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

표면가공법에 따른 현가장치재(SUP-9, 50CrV₂)의 부식특성에 관하여 실험적으로 연구한 결과는 다음과 같다.

1) 핫피닝 시험편이 쇼트피닝 시험편보다 압축잔류응력이 더 높게 나타났으며, 이는 핫피닝시 열에 의해 표면이 연화되어 쇼트볼에 의한 소성변형이 더 컸기 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) Fig. 5의 분극특성 변화를 통해 쇼트피닝 시험편과 핫피닝 시험편 모두 전류밀도 0.01 A/cm² 근방에서 부동태 영역이 형성되는 것을 확인하였다.

4) 부식면 관찰에서 핫피닝의 경우처럼 표면의 요철이 심한 경우, 피로하중을 고려한 설계강도에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) C. J. Park and H. S. Kwon, 2002, "Effects of aging at 475 °C on corrosion properties of tungsten containing duplex stainless steels", Corrosion Science, 44, pp. 2817-2830.
- (2) Y. S. Lim, J. S. Kim, S. J. Ahn, H. S. Kwon and

Yasuyuki Katata, 2001, "The influence of microstructure and nitrogen alloying on pitting corrosion of type 316L and 20 wt.% Mn-substituted type 316L stainless steels", *Corrosion Science*, 43, No. 1, pp. 53-68 .

(3) H. S. Kwon, R.F. Hehemann and A.R. Troiano, 1992, "Critical cracking potentials of 26Cr-1Mo ferritic stainless steels", *Corrosion* 48, pp. 838-845, .

(4) Y. S. Li, Y. Niu and W. T. Wu, 2003, "Accelerated corrosion of pure Fe, Ni, Cr and several Fe-based alloys induced by ZnCl₂/KCl at 450 °C in oxidizing environment", *Material Science and Engineering*, Volume 345, pp. 64-71 .

(5) W. Luo, 2003, "The corrosion resistance of Cr19Ni9 stainless steel arc welding joints with and without arc surface melting", *Materials Science and Engineering*, Volume 345, pp. 1-7 .

(6) J. X. Guo, J. X. Li, L. J. Qiao, K. W. Gao and W. Y. Chu, 2003, "Stress corrosion cracking and hydrogen-induced cracking of amorphous Fe 74.5Ni10Si3.5B9C2", *Corrosion Science*, Volume 45, pp. 735-745 .

(7) D. A. Lopez, A. W. H. Schreinerb, S. R. de Sancheza and S. N. Simisona, 2003, "The influence of carbon steel microstructure on corrosion layers an XPS and SEM characterization", *Applied Surface Science* Volume 207, pp. 69-85.

(8) M. C. Fontana, 1986, "Corrosion engineering", 3rd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.

(9) K. Y. Lee, D. H. Bae, S. C. Park, W. U. Jung, 2003, "Evaluation of corrosion Fatigue strength of the automobile's coil spring", *KSAE03-F0188* Volume II, pp. 1216-1220.