

스프링강의 부식에 미치는 쇼트피닝의 영향

하경준* · 박경동*

*부경대학교 기계공학부

Influence of Shot Peening on the Corrosion of Spring Steel

KYUNG-JUN HA* AND KYUNG-DONG PARK*

*School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Shot Peening 쇼트피닝, Spring Steel 스프링강, Corrosion 부식, Protection 방식, Immersion Test 침지시험, Residual Stress 잔류응력, Polarization Curve 분극곡선, Weight Loss 무게감소, Corrosion Potential 부식전위

ABSTRACT: Shot peening is an effective method of improving the fatigue strength of components and structures. The compressive residual stress produced by surface plastic deformation with shot peening is usually regarded as the major factor in increasing fatigue strength. In this study, the influence of shot peening on corrosion was investigated. Spring steel immersed in 3.5% NaCl prior was used to evaluate the effect of shot peening on fatigue properties. The immersion test was performed on the five kinds of specimens with shot peened and unpeened. The distributions of residual stresses of shot peened spring steels were measured in an X-ray diffraction apparatus, using the two-point method. Corrosion potential, polarization curve, residual stress, etc. were investigated, based on the experimental results. From test results, the effect of shot peening on the corrosion was evaluated.

1. 서 론

최근 산업사회의 발전과 함께 자동차, 항공기, 선박 등의 고출력화, 장수명화 및 경량화에 따른 욕구가 고조되고 있다. 이들 기계구조물들에 이용되는 재료의 소재에는 고강도화 및 경량화 설계방법이 도입되어 안전하게 성능을 발휘하여야 할 필요가 있다. 표면경화법은 재료의 강도를 향상시켜 설계능력을 높일 수 있고 재료의 중심부에서는 높은 인성을 유지할 수 있으므로 피로하중을 받는 기계구조물 부품의 수명향상에 대단히 기여하고 있는 실정이다. 이들 표면경화법에는 침탄법, 질화법, 고주파열처리법, 쇼트피닝 등 여러가지 방법이 알려져 있다. 특히 그중에서 쇼트피닝 기술은 피로수명을 증가시켜 설계 제작된 기계구조물의 파손을 미연에 방지할 수 있다고 보고되어지고 있다(이종규와 김정규, 1997; 정성균 등, 2001).

쇼트피닝(shot peening)은 표면결함을 제거하고 표면층을 강화시켜 피로강도를 증가시키는 방법으로서 담금, 뜨임이나 표면처리를 병행하면 피로강도를 더욱 향상시킬 수 있다(정석주와 백상도, 1997). 쇼트피닝은 수많은 양의 쇼트 볼을 일정한 속도로 금속표면에 투사하는 것으로서 쇼트볼에 의해 타격된 금속표면은 요철면을 이루게 되고 표면은 소성가공에 의한 가공경화층과 압축잔류응력층을 표면부 가까이 형성시키게 된다. 여기에서 가공경화에 따른 경도의 증가는 피로수명에 큰 영향을 주지 않는다(SAE Manual). 이와 같이 쇼트피닝에 의해 생성되는 압

축잔류응력은 피로강도에 큰 영향을 미치며, 이에 관련된 연구가 많이 행하여져 오고 있다(이종규와 김정규, 1997; 정석주와 백상도, 1998; 이승호와 김희승, 1999; 박경동과 정찬기, 2001)

그러나 이들 연구들은 피로특성 향상에 둔 경우가 대부분이다. 쇼트피닝가공에 의한 효과는 응력부식저항에도 탁월한 효과가 있음이 연구되어지고 있고(Speidel, 1981; Koehler, 1984), 부식환경하에서도 피로수명이 증가된다는 보고가 있다(Muller et al., 1981; Kirk and Jarrett, 1984). 쇼트피닝에 의한 가공을 하게 되면, 표면 전체가 압축잔류응력 상태가 됨으로서 표면 전체가 균일한 응력상태에 놓이게 된다고 볼 수 있다. 균일한 응력 상태에서는 국부전지에 의한 부식셀의 형성이 감소되어진다. 응력상태가 현저하게 다른 상태가 재료에 발생할 경우(용접 등) 재료에는 상이한 응력들이 공존하게 되며, 응력이 많이 걸린 부분이 양극(anode)으로 작용하여 국부전지에 의한 부식의 진행이 활성화되어 질 것이다(Staehele et al., 1967; Uhlig and Revie, 1985; Fontana, 1986; 이학렬, 1990; 윤병하와 김대룡, 1997; 강진식 등, 2001; 안석환과 임우조, 2000).

따라서, 본 연구에서는 쇼트피닝에 의한 압축잔류응력이 표면 전체에 생성되었을 경우, 그것이 피로강도 및 부식피로강도 등에 미치는 영향을 파악하기 위한 초기단계로서 스프링강에 쇼트피닝을 실시한 소재가 부식환경하에서 어떠한 부식특성을 나타내는지를 조사하였다. 그리고 핫피닝(hot peening)을 실시한 시험편을 추가로 제작하여 쇼트피닝재와 비교하였다. 이것은, 핫피닝에 의해 제작된 50CrV4강이 일반 스프링강보다 제품의 중량이 가볍고 재료절감의 효과가 있다고 알려져 있기 때문이다. 또한, 기지재와 기지재를 열처리한 소재와 쇼트피닝한 소재의

제1저자 하경준 연락처: 부산광역시 남구 용당동 산 100
016-587-9816 hjk622@hanmail.net

부식특성을 비교, 검토하여 쇼트피닝의 유무가 스프링강의 부식에 어떠한 영향을 미치는가를 조사한 결과를 보고한다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 재료

본 연구에 이용된 재료는 자동차 및 철도차량의 현가장치에 주로 사용되어지고 있는 스프링강(JIS G SUP-9)과 와이어로드 상태의 압연강재인 스프링강(DIN 50CrV4)이며, 그 화학성분을 Table 1에 나타낸다.

침지시험에 사용된 시험편은 61x63.5x12.5mm의 평판으로 하였다. 침지시험에 이용된 시험편은 모재(NonHT & unpeened), 모재+쇼트피닝(NonHT & shot peened), 열처리재(HT & unpeened), 열처리후 쇼트피닝(HT & shot peened), 그리고 hot peening(HT & hot peened)한 것으로 총 5종류로 하였다. 열처리에 있어서는 전기로에서 880℃로 30분간 가열한 후 오일 속에

Table 1 Chemical compositions of SUP-9 and 50CrV4 spring steels (wt%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
SUP-9	0.56	0.25	0.84	0.016	0.009	0.88	-
50CrV4	0.50	0.27	0.82	0.02	0.005	0.10	0.117

Table 2 Mechanical properties of SUP-9 and 50CrV4 spring steels after heat treatment

Material	Tensile strength (MPa)	Hardness (HRC)		Elongation (%)
		After quenching	After tempering	
		SUP-9	1764	
50CrV4	1795	2.5	2.75	9.4

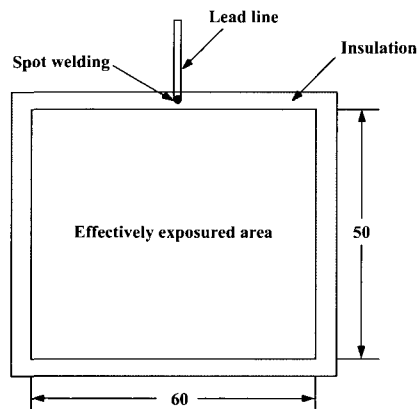


Fig. 1 Shape and dimensions of the specimen

서 담금질을 실시한 다음, 다시 연속식 가스 템퍼링노에서 50CrV4강의 경우는 가열온도 370℃, 가열시간 80분을 유지하여 템퍼링 하였고, SUP-9강의 경우는 가열온도 420℃, 가열시간 110분을 유지하여 템퍼링을 실시하였다. Table 2에는 열처리가 완료된 시험편의 기계적성질을 나타낸다. 여기서 표시한 경도는 표면으로부터 100 μm 깊이의 로크웰 경도값(Ball Dia. : 10 mm, 하중: 3000 Kg)이다. 이상과 같은 조건으로 제작된 시험편의 형상을 Fig. 1에 나타낸다.

2.2 쇼트피닝 조건

코일스프링 제조용 쇼트피닝기를 이용하여 스프링강에 1단 쇼트피닝(1 stage shot peening)을 실시하였다. 시험편 표면전체에 균일한 쇼트피닝 가공면을 얻기 위하여 시험편의 양단에 라버(rubber masking)를 부착한 후 치구로 고정된 다음 2개의 자전 롤러 위에 올려 놓고 쇼트볼을 투사하였다. 본 연구에 이용된 쇼트피닝 조건을 Table 3에 나타낸다.

Table 3 Conditions of shot peening

Condition	1 stage shot peening
Impeller diameter	490 mm
Blades width / Q'ty	90 mm / 6 pcs
rpm	2200 rpm
Shot ball diameter	0.8 mm
Time	24 sec
Arc height (Alman A-stip)	0.375 mm
Coverage	85 %

2.3 핫피닝 조건

Table 3에 나타난 조건과 동일하게 핫피닝을 실시하였다. 본 연구에 적용한 일반적인 쇼트피닝의 프로세스(process)가 가열-오일퀵칭-템퍼링-워터쿨링-쇼트피닝의 순으로 진행되는데, 핫피닝(hot peening)에 있어서는 가열-오일퀵칭-템퍼링-재가열-쇼트피닝-워터쿨링으로 진행되는 프로세스를 가진다. 이때, 재가열에 있어서는 여러 가지 온도를 적용해 본 결과 300℃로 온도를 고정하여 가열하는 것이 최적인 상태로 확인되었으므로 재가열온도를 300℃로 일정하게 하여 20분 동안 재차 실시하였다. 50CrV4강은 SUP-9강보다도 일반적으로 고응력재인 경우로서 위와 같이 핫피닝공법을 실시해야만 쇼트볼에 의한 잔류응력이 깊이 들어가기 때문이다.

2.4 실험방법

5종류의 시험편을 이용한 침지시험에 있어서는 시험편의 유효노출면적을 60x50mm로 하였고, 나머지 부분은 살리콘수지로 피복절연 시켰다. 모재 및 열처리재는 #10~2000까지의 에머리페이퍼로 경면연마를 실시한 후 아세톤으로 탈지시켰다. 부식환경으로서는 탈기(deaeration)처리하지 않은 3.5% NaCl수용액(pH 8)을 사용하여 매24시간마다 1회씩 부식전위와 부식전류

를 측정하였고, 시험 완료후 무게감소량을 측정하였다. 부식액은 168시간(7일) 간격으로 교체하였다. 시험기간은 7, 14, 30 및 60일의 4가지로 하였다. 분극시험에 있어서는 시험편의 유효노출면적을 10x10mm로 하여 표면을 경면연마시켰다. 측정에 있어서는 Potentiostat/Galvanostat와 PC를 이용하여 corrosion software에 의해 분극측정을 하였다. 기준전극으로는 포화카르멜전극(Saturated calomel electrode, SCE)을, 상대전극(Counter electrode)으로는 2개의 고밀도 탄소봉을 사용하였다. 분극시험시 주사속도는 0.167 mV/sec로 하였다.

또한, 쇼트피닝에 의한 시험편 표면의 잔류응력의 분포를 알아보기 위하여 X-선 잔류응력측정기(PIGAKU-MSF2M)를 이용하였다. 깊이방향의 잔류응력을 측정하기 위하여 전해연마기로 시험편의 측정부위를 10~20 μ m 단위로 연마해 가면서 잔류응력을 측정하였다. 측정계산방법은 2θ - $\sin^2\phi$ 법을 이용하였다. 잔류응력의 측정조건을 Table 4에 나타낸다.

Table 4 Measuring conditions of residual stress

X-ray diffraction		Condition	
		Target	Cr-V
X-ray source	Voltage (kV)	30	
	Current (mA)	10	
ϕ	0°, 15°, 30°, 45°		
2θ	140° ~170°		
Detector	Scintillation counter		

3. 결과 및 고찰

3.1 잔류응력분포

Fig. 2는 쇼트피닝 처리한 SUP-9강과 핫피닝 처리한 50CrV4강의 부식시험 전의 압축잔류응력의 분포를 나타내고 있다. 그림속에는 기지재인 SUP-9강의 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(Non-HT & shot peened)과 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened) 및 핫피닝(HT & hot peened)한 50CrV4강의 3종류의 결과를 나타내었다. 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(Non-HT & shot peened)의 경우 최표면에서 최대압축잔류응력으로서 -427.47 MPa의 값이 얻어졌다. 이후 점차 압축잔류응력이 감소하고 내측 약 0.32 mm까지 압축잔류응력이 분포하고 있다. 최대잔류응력의 발생위치는 최표면이었다. 이에 반해, 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened)의 경우에는 최대잔류응력의 발생위치는 표면으로부터 약 0.13 mm 내측으로서 -657.05 MPa의 압축잔류응력값이 얻어졌다. 이후 점차 압축잔류응력이 감소하여 표면으로부터 내측 약 0.3 mm까지 압축잔류응력이 분포

하고 있음을 알 수 있다. 이것으로부터 쇼트피닝재는 열처리를 하지 않은 시험편에 비해 열처리를 한 경우 더 높은 압축잔류응력이 분포하고 있음을 알 수 있다. 이것은 열처리에 의해 표면부의 조직이 연화되어져 소성변형능력이 향상되어지고 쇼트볼의 충돌시에 더 큰 압축잔류응력을 형성한 것으로 생각된다. 재가열을 실시한 핫피닝재에서 그 효과가 두드러지게 나타나고 있다. 최대압축잔류응력의 차는 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened) 및 핫피닝(HT & hot peened)한 시험편이 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(Non-HT & shot peened)에 대해 각각 229.48 MPa(약1.54배), 504.06 MPa(약2.18배) 더 높게 나타났다.

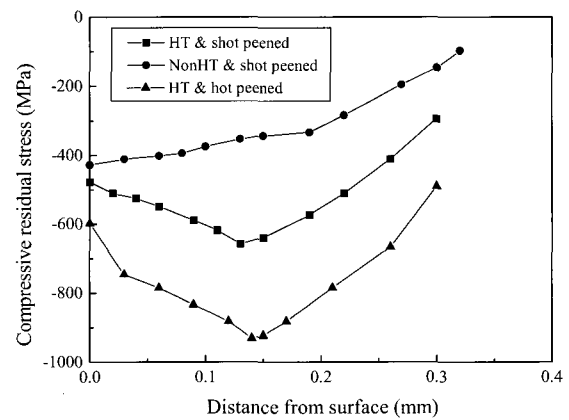


Fig. 2 Compressive residual stress distributions of shot peened SUP-9 and 50CrV4 steel before immersion test

3.2 분극특성

Fig. 3은 각 시험편에서 얻은 분극곡선을 나타낸다. 각각의 시험편에서 E_{corr} (부식전위) 및 I_{corr} (부식전류밀도)는 다음과 같이 얻어졌다. 이때 E_{corr} (부식전위) 및 I_{corr} (부식전류밀도)는 Tafel 외삽법을 이용하여 구하였다(Fontana, 1986). 열처리 및 쇼트피닝처리를 하지 않은 모재(NonHT & unpeened)는 -340 mV/SCE 및 4.2×10^{-5} A/cm², 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(NonHT & shot peened)은 -420 mV/SCE 및 8×10^{-6} A/cm², 열처리한 후 쇼트피닝처리를 하지 않은 시험편(HT & unpeened)은 -410 mV/SCE 및 2.7×10^{-5} A/cm², 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened)은 -400 mV/SCE 및 1.3×10^{-5} A/cm², 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)은 -375 mV/SCE 및 9×10^{-6} A/cm²을 나타내었다. 전반적으로 쇼트피닝한 시험편의 경우가 그렇지 않은 시험편에 비해서 부식전류가 조금 낮은 값을 나타내고 있다. 잔류응력이 가장 높게 나타났던 핫피닝한 경우의 부식전류밀도값이 가장 낮게 나타났다. 부식전위에 있어서는 모재에 비해 쇼트피닝한 시험편들이 더 비활성(active) (-)측 방향으로 나타나고 있다. 쇼트피닝한 시험편의 경우 쇼트피닝 처리된 표면부가 쇼트피닝효과가 미치지 않는 기지재인 내부 모재에 비해 더 활성(active)인 상태에 놓여져 기지재를 방식하는 효과를 나타내고 있

기 때문이라고 생각된다. 열처리 및 쇼트피닝처리를 하지 않은 모재(NonHT & unpeened), 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(NonHT & shot peened) 및 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened)에서는 부동태현상이 관찰되지 않았다. 열처리한 후 쇼트피닝처리를 하지 않은 시험편(HT & unpeened)은 다소 불안정한 양상을 보이며 부동태의 양상이 미세하게 나타나고 있다. 또한, 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)의 경우에 있어서는 명확하지는 않으나 부동태의 양상이 나타나고 있다.

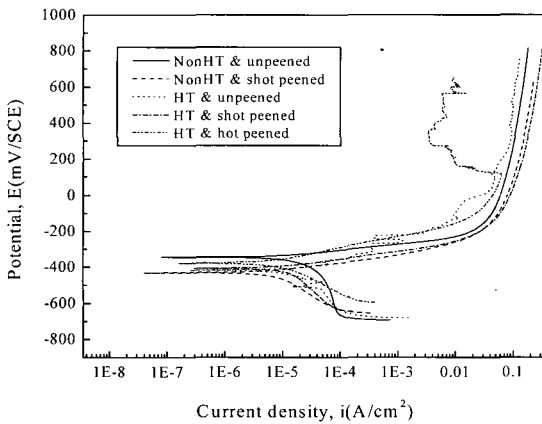


Fig. 3 Polarization curves of shot peened and unpeened specimens

3.3 부식전위의 변화

Fig. 4는 탈기처리하지 않은 3.5% NaCl수용액 중에서 30 및 60일 동안 침지시켜 매 24시간마다 1회씩 측정된 부식전위의 변화를 나타내고 있다. 쇼트피닝을 처리하지 않은 시험편들은 전반적으로 부식전위가 더욱 (-)측 방향의 값을 나타내고 있는 반면, 쇼트피닝한 시험편의 경우는 대체로 자연전위보다도 (+)측 방향

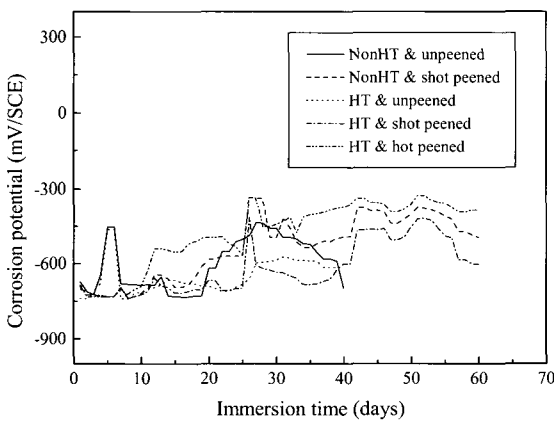


Fig. 4 Corrosion potential versus immersion time of shot peened and unpeened specimens immersed in 3.5% NaCl

의 전위를 나타내고 있다. 이것은 쇼트피닝에 의한 압축층이 연속적으로 분포하고 있으면서 압축잔류응력의 증가로 인해 부식에 대한 민감성이 감소하였기 때문으로 생각된다. 이것은 최초 응력을 가진 상태에서는 부식의 진행이 더 빠르게 나타나지만 이로 인해 부식생성물의 형성이 빨라져 이 부식생성물이 보호피막으로서 작용하기 때문으로 생각된다. 더욱이, 압축잔류응력이 가장 크게 나타났던 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)의 경우가 가장 귀한(noble), 즉 비활성 방향(+측 방향)으로 부식전위를 형성하고 있다. 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)의 경우, 기지재인 50CrV4강은 바나듐(vanadium)을 소량 함유하고 있다. 이 바나듐은 NaCl용액속에서 18%Cr 페라이트강의 공식전위를 귀한(noble) 방향(+측 방향)으로 상승시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다 (Ras and Pistorius, 2002). 따라서, 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)이 더욱 (+)측 방향의 귀한 방향으로 부식전위가 나타나고 있는 것은 바나듐 원소의 첨가에 의한 방식의 효과도 있는 것으로 생각된다.

3.4 부식속도

Fig. 5에는 7, 14, 30 및 60일 동안 침지부식시험을 실시한 후 얻어진 무게감소량을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 이때 무게감소량은 최초 시험 전에 측정했던 무게로부터 시험 후 부식생성물을 완전히 제거하고 난 후의 무게변화를 측정된 것이다. 무게감소량의 변화는 전반적으로 쇼트피닝 처리한 시험편의 경우가 덜 부식되고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(NonHT & shot peened)의 경우에는 오히려 가장 큰 무게감소를 보이고 있다. 이것은 열처리를 하지 않은 상태에서 쇼트피닝을 실시함으로써 쇼트볼에 의한 압축층이 연속적이지 못하고 요철이 다소 거칠게 형성되어졌기 때문으로 사료된다. 그러나, 시간의 경과와 함께 둔화하고 있는 경향을 보이고 있다. 열처리 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened)과 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)은 시간의 경과와 함께 다소 무게감소량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 시간의 경과와 더불어 쇼트피닝층이 용해되어져 최초에 형성되었던 압축잔류응력이 낮게 형성된 내부로 갈수록 점점 부식에 민감하게 반응하였기 때문으로 생각된다. 이는 압축잔류응력이 가장 크게 나타났던 핫피닝(HT & hot peened)에서 일직선형태의 증가를 보이는 것과 일치한다.

Fig. 6에는 Fig. 5에 나타낸 무게감소량을 부식속도로 나타낸 것이다. 종축에는 부식속도의 척도로서 mdd(mg/dm²/day)를 나타낸다. 쇼트피닝한 시험편에서 낮은 부식속도를 나타내고 있다. 처음 7일간 부식속도가 급격히 증가하였던 열처리하지 않고 쇼트피닝한 시험편의 경우(NonHT & shot peened)도 시간의 경과와 함께 부식속도가 급격히 감소하여 거의 쇼트피닝하지 않은 시험편의 부식속도에 근접하고 있음을 알 수 있다. 열처리 후 쇼트피닝(HT & shot peened) 및 핫피닝된 시험편(HT & hot peened)은 시간이 경과할수록 부식속도는 거의 일정한 값을 나타내었다. 단, 14~30일간의 침지기간 동안에 약간 부식속도가 증가하는 경향을 보이고 있는데, 오히려 쇼트피닝에 의한 표면층에서 부식이 진행되어져 쇼트피닝의 효과가 없는 내부 모재부를 방식하는 결

과로 여겨진다. 이상의 결과로부터, 쇼트피닝한 시험편은 그렇지 않은 시험편에 비해 방식효과가 있다고 생각되며, 그것은 압축잔류응력의 영향 때문이라고 생각된다(Lin and Chen, 2003).

Fig. 7에는 열처리 및 쇼트피닝처리를 하지 않은 모재 (NonHT & unpeened), 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편 (NonHT & shot peened), 열처리한 후 쇼트피닝처리를 하지 않은 시험편(HT & unpeened), 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened) 및 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)의 7, 30 및 60일 침지시험후의 표면조도의 경향을 나타내었다. 부식 시험 후의 표면의 요철상태를 조사하기 위해 표면조도계 (Surfacorder SEF-30D, KOSAKA Co.)을 이용하였다. 측정 침의 선단 반경은 2 μm 로 하였고 측정하중은 1 g, 종배율은 1000 배, 횡배율은 50배로 하였다. 시간 경과에 따른 부식시험 후의 표면조도의 변화에 있어서, 열처리 및 쇼트피닝처리를 하지 않

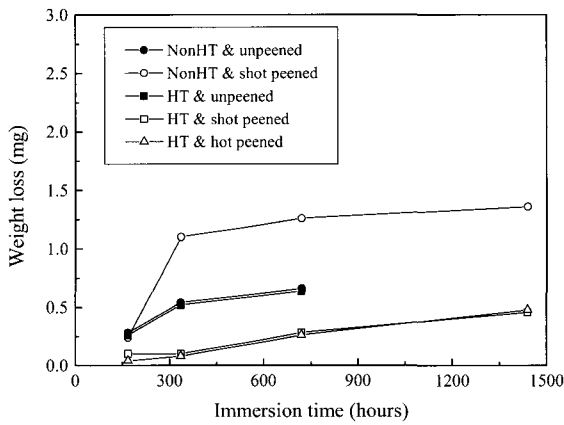


Fig. 5 Weight loss versus immersion time of shot peened and unpeened specimens immersed in 3.5% NaCl

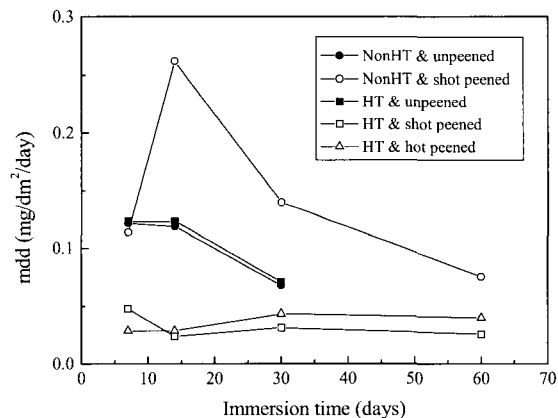


Fig. 6 Corrosion rate, mdd versus immersion time of shot peened and unpeened specimens immersed in 3.5% NaCl

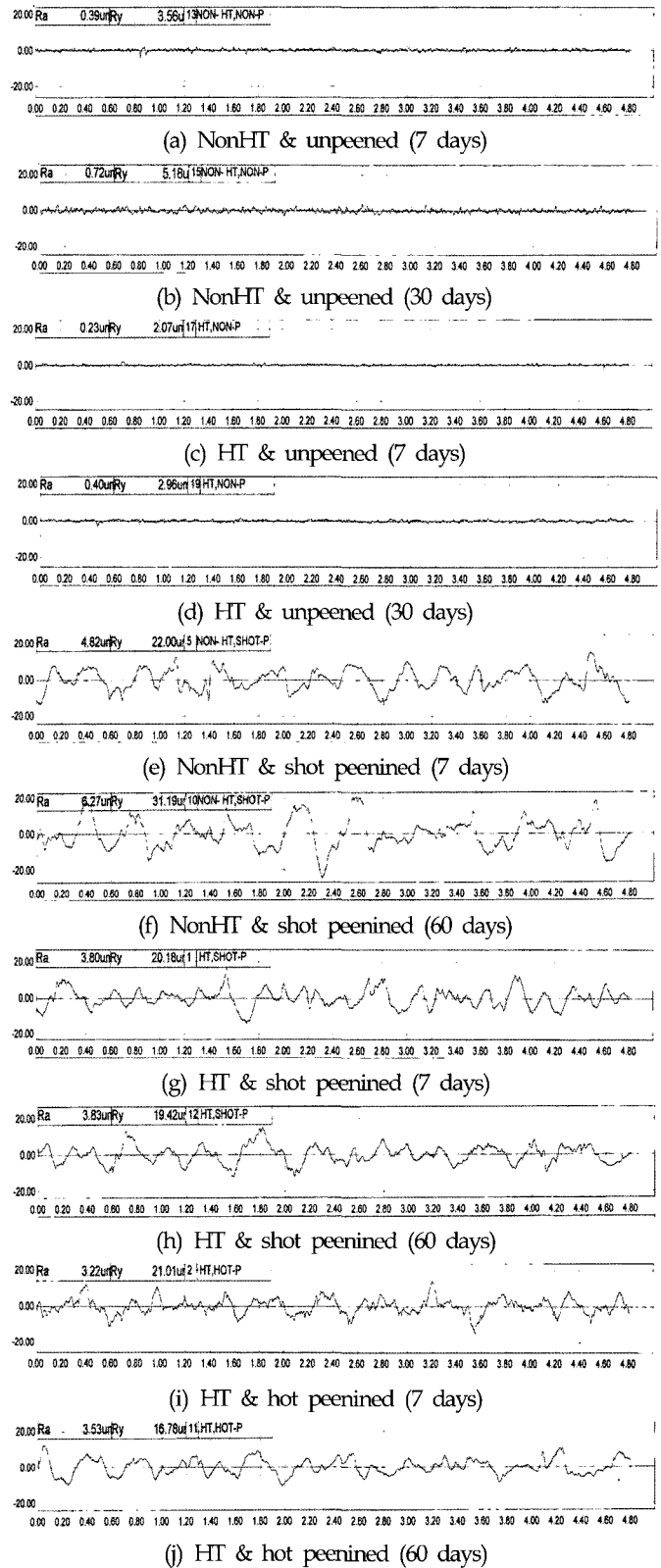


Fig. 7 Surface roughness of shot peened and unpeened specimens immersed during 7, 30 and 60 days in 3.5% NaCl

은 모재(NonHT & unpeened)와 열처리한 후 쇼트피닝처리를 하지 않은 시험편(HT & unpeened)의 경우 30일간 시험한 시험편의 평균조도가 7일간 시험한 평균조도에 대해 각각 약 1.85배 ($0.39 \mu\text{m} \rightarrow 0.72 \mu\text{m}$), 1.74배($0.23 \mu\text{m} \rightarrow 0.40 \mu\text{m}$) 정도로 표면이 거칠어졌다. 한편, 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(NonHT & shot peened), 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened) 및 핫피닝한 시험편 (HT & hot peened)의 경우에는 60일간 시험한 시험편의 평균조도가 7일간 시험한 평균조도에 대해 각각 약 1.3배($4.82 \mu\text{m} \rightarrow 6.27 \mu\text{m}$), 1.01배($3.80 \mu\text{m} \rightarrow 3.83 \mu\text{m}$) 및 1.1배($3.22 \mu\text{m} \rightarrow 3.53 \mu\text{m}$) 정도 표면이 거칠어졌다. 따라서, 쇼트피닝한 시험편의 경우, 전반적으로 표면조도의 영향이 크게 나타나지 않고 있지만 최대표면조도의 값에서는 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(NonHT & shot peened)한 경우에 있어서 약 $10 \mu\text{m}$ 정도 증가하였고, 오히려 열처리한 후 쇼트피닝한 시험편(HT & shot peened) 및 핫피닝한 시험편(HT & hot peened)에 있어서는 $1\sim4 \mu\text{m}$ 정도 감소하는 경향이다. 이것은 열처리한 후에 실시한 쇼트피닝에 의한 압축표면이 열처리에 의해 조직이 연화되어져 쇼트볼에 의한 압축층이 연속적으로 이루어져 있기 때문으로 생각된다. 상대적으로 표면조도가 조금 더 거칠어졌던 열처리를 하지 않고 쇼트피닝한 시험편(NonHT & shot peened)에서 부식에 의한 무게감량이 가장 크게 나타나고 있으므로 쇼트피닝에 의한 표면조도의 영향은 다소 있는 것으로 판단된다. 쇼트피닝한 시험편이 쇼트피닝 처리하지 않은 시험편에 비해서 표면조도가 거칠게 나타나고 있으나 부식에 덜 민감한 것은 쇼트피닝에 의해 표면부에 형성된 압축잔류응력의 영향이 큰 것으로 사료된다. 금후 이것에 대해서는 좀더 검토해 볼 여지가 있다.

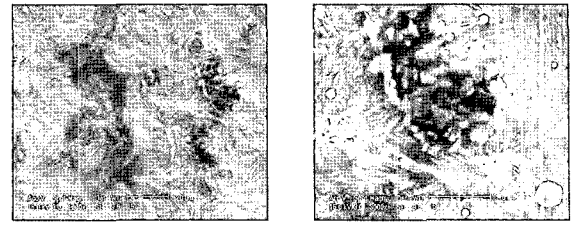
3.5 SEM관찰

Fig. 8은 30일 동안 침지부식시험을 실시한 후 각 시험편에서 얻은 SEM으로 관찰한 결과이다. 쇼트피닝을 실시한 시험편들은 그렇지 않은 시험편들에 비해 압축 응력층이 형성되어져, 부식에 덜 민감한 것으로 생각된다. 사진에도 나타나듯이 쇼트피닝시에 표면에 형성된 작은 딩플(dimple)들에서 부식이 진행되지만, 유효한 잔류 압축 응력장의 효과 때문에 표면 거침의 부정적인 면이 상쇄되어지고 쇼트피닝을 실시하지 않은 시험편에 비해서 부식의 진행이 더디어진 것으로 생각된다.

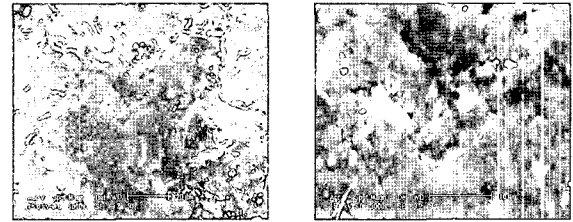
4. 결 론

본 연구에서는 스프링강에 쇼트피닝을 실시하여 쇼트피닝이 부식에 어떠한 영향을 미치는 가를 조사하였다. 쇼트피닝 및 핫피닝을 실시한 스프링강의 침지시험 및 분극시험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

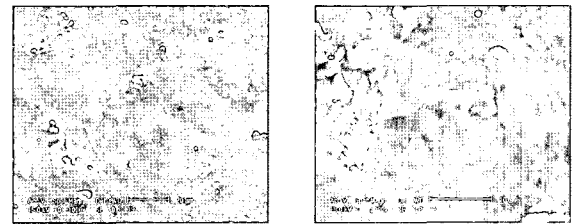
- (1) 재가열에 의한 핫피닝재의 압축잔류응력이 가장 크게 나타났고, 부식에 덜 민감하였다.
- (2) 열처리를 행한 후 쇼트피닝한 시험편의 경우에 있어서 부



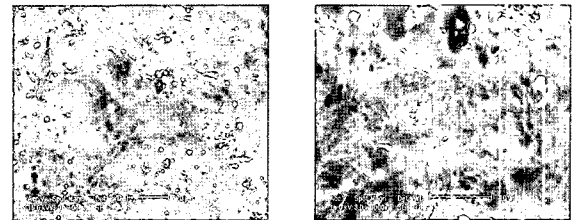
(a) NonHT & unpeened (30 days)



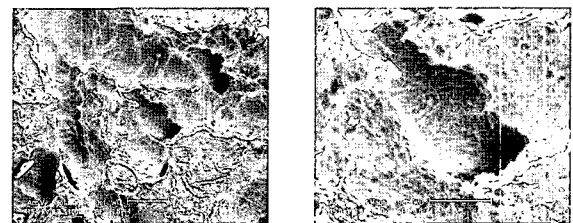
(b) NonHT & shot peened (30 days)



(c) HT & unpeened (30 days)



(d) HT & shot peened (30 days)



(e) HT & hot peened (30 days)

Fig. 8 SEM micrographs of shot peened and unpeened specimens immersed in 3.5% NaCl on 30 days (left = x1000; right = x3000)

식속도가 낮게 나타났고, 거의 일정한 경향을 나타내었다.

- (3) 열처리 후 쇼트피닝처리한 시험편에서는 표면조도의 영향이 상대적으로 적었다.
- (4) 분극곡선에 있어서 쇼트피닝한 시험편들의 부식전위(E_{corr})가 쇼트피닝을 하지 않은 시험편들에 비해 다소 (-)측 방향으로 비한(active)값을 나타내어, 쇼트피닝에 의한 방식효과가 나타나고 있는 것으로 생각된다.

참고 문헌

- 강진식, 김태형, 윤종구, 정성균, 이승호 (2001). "쇼트피닝에 의한 기어강의 부식특성에 관한 연구", 대한기계학회 2001년도 추계학술대회논문집 A, pp 216-221.
- 박경동, 정찬기 (2001). "DIN50CrV4-SAE9254강의 피로강도에 미치는 압축잔류응력의 영향", 한국해양공학회지, 제15권, 제3호, pp 94-100.
- 안석환, 임우조 (2000). "해수환경중 캐비테이션 침식-부식 하에서의 응력부식균열 거동(I)", 한국어업기술학회지, 제36권, 제2호, pp 132-138.
- 안석환, 임우조 (2000). "해수환경중 캐비테이션 침식-부식 하에서의 응력부식균열 거동(II)", 한국어업기술학회지, 제36권, 제2호, pp 139-146.
- 윤병하, 김대룡 (1997). "금속의 부식과 방식개론", 형설출판사.
- 이승호, 김희송 (1999). "스프링강의 피로거동에 미치는 2단 쇼트피닝의 효과", 대한기계학회논문집 A권, 제23권, 제1호, pp 140-147.
- 이종규, 김정규 (1997). "피로강도 및 수명에 미치는 shot peening에 의한 잔류응력의 영향", 대한기계학회논문집 A권, 제21권, 제9호, pp 1498-1506.
- 이학렬 (1990). 금속부식공학, 연경문화사.
- 정석주, 백상도 (1998). "스프링강의 피로특성에 미치는 쇼트피닝의 영향", 대한기계학회논문집 A권, 제22권, 제6호, pp 1009-1015.
- 정성균, 이승호, 정석주 (2001). "쇼트피닝 가공조건이 피닝강도에 미치는 영향", 대한기계학회논문집 A권, 제25권, 제10호, pp 1590-1596.
- Fontana, M.G. (1986). Corrosion Engineering, 3rd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kirk, D. and Jarrett, M. (1984). "Influence of Shot Peening on Fatigue and Corrosion-Fatigue Behavior of Structure Steel", Proc. of the 2nd International Conf. on Shot Peening, Vol 1, pp 133-142.
- Koehler, W. (1984). "Influence of Shot Peening with Different Peening Materials on the Stress Corrosion and Corrosion Fatigue Behavior of a Welded AlZnMg-Alloy", Proc. of the 2nd International Conf. on Shot Peening, Vol 1, pp 126-132.
- Lin, Y.C. and Chen, S.C. (2003). "Effect of Residual Stress on Thermal Fatigue in a Type 420 Martensitic Stainless Steel Weldment", Jour. of Materials Processing Technology, in press.
- Muller, M.P., Verpoort, C. and Gessinger, G.H. (1981). "The Influence of Shot Peening on the Fatigue and Corrosion Fatigue Behavior of an Austenitic-Ferritic Stainless Steel", Proc. of the 1st International Conf. on Shot Peening, Vol 1, pp 479-484.
- Ras, M.H. and Pistorius, P.C. (2002). "Possible Mechanisms for the Improvement by Banadium of the Pitting Corrosion Resistance of 18% Chromium Ferritic Stainless Steel", Corrosion Science, Vol 44, pp 2479-2490.
- SAE (1993). SAE Manual on shot-peening, SAE J 808a.
- Speidel, M.O. (1981). "Effect of Shot Peening on Stress Corrosion Cracking and Corrosion Fatigue", Proc. of the 1st International Conf. on Shot Peening, Vol 1, pp 625-635.
- Staeble, R.W., Forty A.J. and Rooyen, D. (1967). "Fundamental Aspects of Stress Corrosion Cracking", Proc. of Conf., The Ohio State Univ., pp 369-374.
- Uhlig, H.H. and Revie, R.W. (1985). Corrosion and Corrosion Control, 3rd Edition, John Willey & Sons, New York.

2003년 4월 10일 원고 접수

2003년 5월 18일 최종 수정본 채택