

쇼트피닝에 의한 기어강의 부식특성에 관한 연구

강진식*·김태형*·윤종구**·정성균***·이승호****

A Study on the Corrosion Characteristics of Gear Steel by Shot Peening

Jin-Shik Kang, Tae-Hyung Kim, Jong-Ku Yoon,
Seong-Kyun Cheong and Seung-Ho Lee

Key Words: Corrosion(부식), Shot peening(쇼트피닝), Residual stress(잔류응력).

Abstract

The surface treatment technique to increase corrosion resistance is very important in mechanical components of structures. Therefore, this paper investigates the effects of shot peening on the corrosion resistance of SCM 420steel. The results show that the surface compressive residual stress largely increases, which cause the increase of corrosion resistance.

1. 서론

금속의 부식(corrosion)현상은 금속이 공기 중에서 주위환경의 영향으로 보다 안정한 상을 생성하는 현상이다. 이러한 부식현상은 금속표면 및 주위 환경의 여러 가지 상태에 의해 영향을 받게 된다.

금속의 부식이 일어날 때 많은 환경적인 요인이 복합적으로 작용을 하게 된다. 스테인레스 강과 같이 합금원소의 첨가에 의해서 내식성이 향상되는 경우도 있고, 고내식성의 도금층을 표면에 입힘으로서 내식성을 향상시키는 경우도 있다. 부식현상이란 기본적으로 금속의 표면이 의

부와의 반응에 의해서 일어나는 것이기 때문에 모든 내식 방법 또한 표면의 상태에 변화를 주어 부식현상을 억제하고자 하게 된다. 기본적으로 금속의 표면은 응력적으로 불균일한 상태이다. 즉, 내부의 석출물이나 제2상에 기인하여 국부적인 미세응력이 발생하게 된다. 이러한 미세응력이 작용하는 부위는 상대적으로 응력이 적은 주위의 부분과 함께 국부전지(cell)을 형성하게 된다. 이러한 국부전지는 국부적인 부식반응을 촉진시키고 이 촉진된 부식반응에 의해 전체적인 부식속도도 증가하게 된다.

쇼트피닝(shot peening)가공은 금속의 표면에 쇼트볼을 투사하여 표면에 압축잔류응력을 생성시키는 표면처리로서 냉간 가공법이다. 이러한 쇼트피닝가공을 하게 되면 표면의 경도 증가와 아울러 피로특성이 향상되게 된다^(1,2). 또한 쇼트피닝가공의 주된 목적도 피로특성 향상에 두는 경우가 대부분이다. 그러나 부가적인 효과를 기대할 수 있다. 선행된 많은 연구에서 쇼트피닝가공이 응력부식저항에 탁월한 효과를 지니고 있음이 연구되었으며^(3,4), 부식환경하에서 피로수명의

* 서울산업대학교 대학원 기계공학과

** 국립기술표준원

*** 서울산업대학교 기계공학과

**** 경기공업대학 기계계열 정밀계측과

현저한 증가가 보고되었다^(5,6). 쇼트피닝 가공을 하게 되면 표면 전체가 압축잔류응력상태가 되는데 이는 표면 전체가 균일한 응력상태가 된다고 볼 수 있으며, 균일한 응력상태에서는 국부전지에 의한 영향이 감소된다고 볼 수 있다. 또한 응력상태가 현저하게 다른 상태가 재료에 발생할 경우 즉, 용접을 하여 용접부와 열영향부(HAZ, Heat Affected Zone) 그리고 기지금속 부위 등으로 응력상태가 상이한 부분이 재료에 공존하게 된다. 이때에는 응력이 많이 걸린 부위가 양극(anode)으로 작용하는 국부전지가 형성되게 되며, 응력이 많이 작용하는 부위에서 부식이 활발하게 일어난다고 볼 수 있다⁽⁷⁾.

본 연구에서는 기어장에서 기계 가공한 표면과 쇼트피닝 가공한 표면상태를 비교하기 위하여 잔류응력을 측정하고 재료의 표면 형상을 미시적으로 관찰하였으며, 부식특성에 대하여 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 시험편

시험편의 형상은 가로와 세로가 100mm이고 두께가 10mm인 평판으로 하였다. 시험편의 화학적 성분은 Table 1과 같으며, Fig. 1과 같이 920℃에서 CO₂ 침탄을 250분간 실시한 후 유중에서 담금질하였고, 180℃에서 150분간 뜨임을 하였다. 본 실험에 사용된 기어장은 실제 기어가 갖는 침탄 깊이로 침탄 처리되었다.

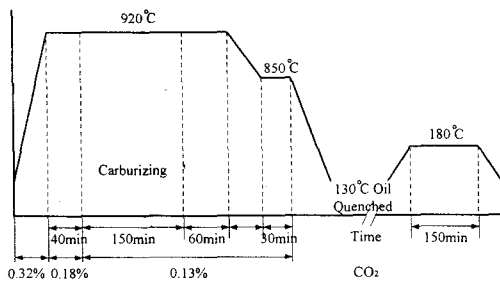


Fig. 1 Heat treatment condition of SCM420.

Table 1. Chemical composition. (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr
SCM	0.13	0.15	0.6	0.030	0.030	0.90
420	-0.18	-0.35	-0.85			-1.2

2.2 잔류응력 측정⁽⁸⁾과 미시적 관찰

잔류응력은 X-선 회절방식의 잔류응력 전용측정기(Denver사, Proto XRD1000L)를 이용하여 측정하였다. 측정시에는 어닐링된 철 분말을 이용하여 기기를 교정 후 측정하였다. 또한, 깊이 방향의 잔류응력을 구하기 위해서는 전해 연마기를 이용하여 표면층을 약 30 μ m 정도 씩 제거하였다. 전해액으로는 과염소산, 글리세롤, 에틸알콜의 혼합액을 증류수에 섞어 사용하였다. 깊이의 변화는 1 μ m까지 측정이 가능한 다이얼 게이지를 이용하여 측정하였다. 또한 표면부의 응력상태를 보다 정밀하게 측정하기 위하여 박막의 분석에 많이 사용되는 미소각 입사방식(glazing incidence method)으로 X-선 회절곡선을 구하였다. X-선 회절시험은 Siemens사의 XRD 500D를 사용하였다. 또한 쇼트피닝에 의한 단면조직의 변화를 관찰하기 위하여 광학현미경을 이용하였다.

2.3 부식실험

전기 화학적 부식특성을 알아보기 위하여 포텐쇼스타트(Potentiostat, Schlumber 1228)를 이용하여 분극곡선을 구하였다. 본 연구에서는 포텐쇼스타트에 컴퓨터를 연결하여 자동으로 분극곡선을 그리는 소프트웨어(Corrware)를 이용하여 분극곡선을 구하였다. 분극곡선은 재료의 부식거동 및 부식속도를 측정할 수 있는 방법으로 실험실적으로 재료의 부식특성을 측정할 수 있는 편리한 방법이다. 분극시험용 부식셀은 백금을 Counter electrode로 이용하는 EG&G사의 Flat Cell을 이용하였다. 분극실험은 0.166mV/sec의 주사속도로 행하였다. 또한 기준전극은 카로멜 전극을 사용하였다. 또한, 탈기(deaeration)처리는 하지 않았으며 부식액으로 5% NaCl수용액을 이용하였다.

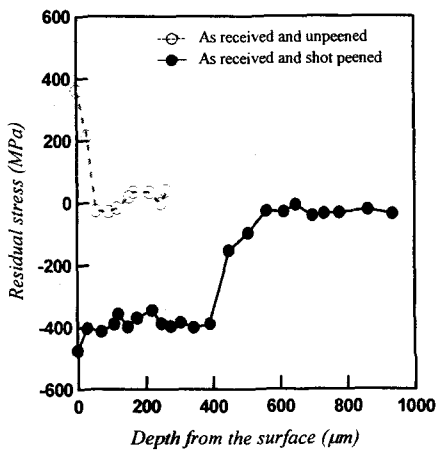
3. 실험결과 및 고찰

3.1 잔류응력 측정

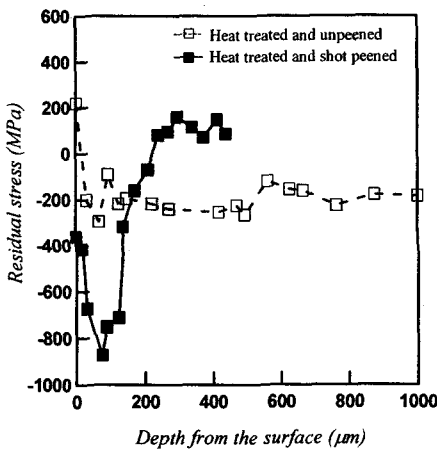
Fig. 2에는 쇼트피닝 가공한 시료의 잔류응력의 변화를 나타내었다.

Fig. 2(a)은 열처리를 하지 않은 시편의 경우인데 표면에서부터 400 μ m 정도의 깊이까지 균일한 압축잔류응력을 나타내었다. 이는 열처리를 하지 않았기 때문에 재료의 경도가 낮아 쇼트볼에 의

한 소성변형영역이 열처리한 시험편에 비해 크기 때문에 보인다. 또한 쇼트피닝처리를 하지 않고 기계가공만 한 시편의 경우 표면에 높은 정도의 인장잔류응력이 작용하고 있는 것을 알 수 있다. 기계가공시의 인장잔류응력이 존재하게 되는 이유는 절삭시 표면에서 재료가 제거되면서 남은 부분에는 인장으로 작용하게 되는 것으로 사료된다. 이러한 인장잔류응력은 피로파괴의 경우에 균열의 전파를 촉진하게 되어 피로특성에 매우 나쁜 영향을 미치게 된다. 쇼트피닝 처리는 이러한 인장잔류응력을 제거하는데 효과적인 것을 알 수 있다.



(a) As received state.



(b) heat treated.

Fig. 2 Residual stress variation of specimens.

Fig. 2(b)는 열처리한 시료의 잔류응력변화를 나타내었다. 압축잔류응력의 최대값이 약 70 μ m 정도의 비교적 얇은 깊이에서 나타났으며 압축잔류응력의 최대값이 열처리를 하지 않은 시료에 비해 2배 정도의 매우 높은 값을 나타내었다. 이는 쇼트피닝효과와 열처리 및 침탄처리에 의한 잔류응력효과가 복합적으로 나타나기 때문으로 보인다. 압축잔류응력 최대값이 재료의 표면에 나타나지 않고 내부에 나타나는 것은 표면부에서는 균열의 발생이나 추가적인 쇼트피닝으로 인한 응력완화(stress relief)현상에 기인한 것으로 보인다.⁽⁹⁾

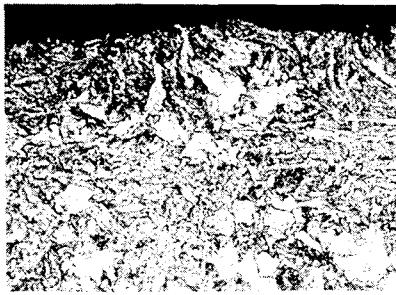
3.2 미세조직에 미치는 잔류응력의 영향

쇼트피닝 가공시 쇼트볼에 의해 재료가 변형이 되고 이 변형이 재료의 다른 부분에 의하여 구속이 되면서 잔류응력이 발생하게 된다. 따라서 쇼트 피닝된 부분의 미세조직을 관찰하면 압연시와 같은 변형조직이 발생할 것으로 생각된다. 그러나 광학현미경으로 미세조직을 관찰 시 특별한 변형조직의 발생을 관찰할 수 없었다.

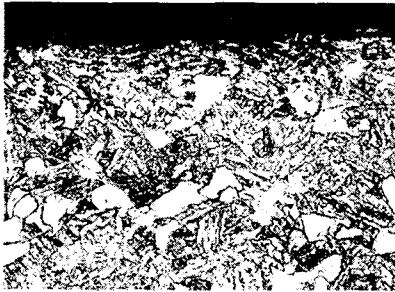
Fig. 3에 열처리를 하지 않은 기어강의 미세조직을 나타내었다.

여기서 오히려 쇼트피닝을 하지 않은 시편의 경우 기계가공에 의해서 표면 부근의 조직이 심하게 변형되어 있는 것을 알 수 있다. 절삭가공시 절삭속도나 윤활유의 유무 등 가공조건이 적절하지 않게 되면 재료가 표면으로부터 제거되면서 변형이 발생하고 이러한 변형에 의해서 표면에 인장잔류응력이 발생하게 된다. 본 연구에 사용된 시편에서도 이러한 영향으로 표면부에 변형조직이 발생하고 표면부의 굴곡도 심하다는 것을 알 수 있다

이 때의 표면부의 조직도 외부로 향하는 등의 많은 변형에 의한 조직형태를 보이고 있다. 반면에 쇼트피닝을 한 시편에서 오히려 표면부의 조직이 평탄하게 나타났다. 이는 쇼트피닝에 의해서 표면부의 돌기등이 제거되고 기계가공에 의한 변형조직이 제거되면서 평탄화가 일어났다는 것을 알 수 있다. 쇼트피닝을 한 시험편에서는 냉간 압연시 발생하는 전형적인 변형조직은 나타나지 않았다. 이러한 양상은 사진에서 백색의 큰 조직으로 나타나는 퍼얼라이트 조직을 관찰하면 확실히 알 수 있다.

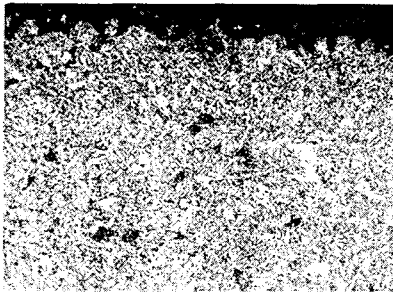


(a) Unpeened specimen.

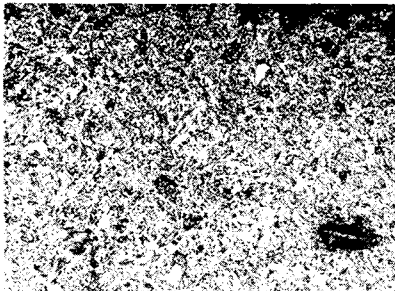


(b) Shot peened specimen.(×800)

Fig. 3 Optical micrographs of as received specimen.



(a) Unpeened specimen.



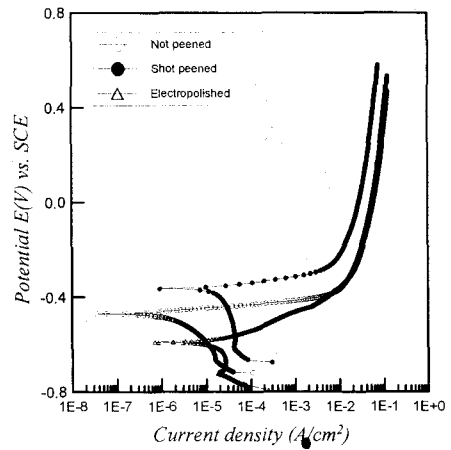
(b) Shot peened specimen.(×800)

Fig. 4 Optical microscope photographs of heat treated specimen.

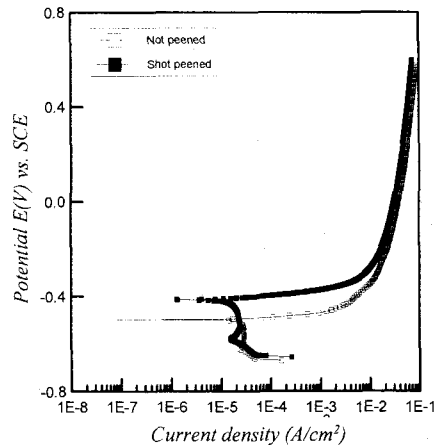
Fig. 4에는 열처리 및 침탄처리를 한 시편의 광학현미경 조직사진을 나타내었다. 재료는 전형적인 마르텐사이트 조직을 나타내었고 침탄에 의하여 생성된 탄화물의 조직을 나타내었다. 이 경우에도 쇼트피닝에 의한 변형조직은 관찰이 되지 않았다. 이러한 차이는 열처리 및 침탄처리를 한 시편의 경우 강도가 높아 열처리를 하지 않은 시편에 비해 변형이 적기 때문으로 생각된다.

3.3 부식실험

Fig. 5에는 여러 가지 조건의 시편에 대한 분극곡선을 나타내었다.



(a) As received state.



(b) heat treated.

Fig. 5 Polarized curves of specimen.

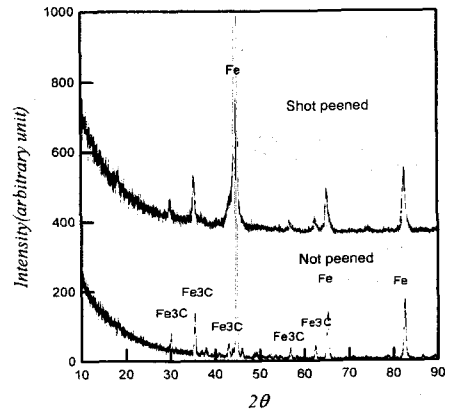
Fig. 5(a)은 열처리를 하지 않은 시편에 대한 분극곡선을 나타내었다. 원재료의 표면에 기계가공이 되어 있었기 때문에 기계가공에 의한 효과를 없애기 위하여 전해연마를 시행한 시료의 분극특성도 나타내었다. 잔류응력이 증가할수록 기준전극과의 부식 전위차는 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, 재료가 귀한(noble) 상태로 된다는 것을 알 수 있다. 또한 이는 잔류응력값이 높을수록 재료가 내식성을 갖게 됨을 나타낸다.

Fig. 5(b)에는 열처리한 시편의 분극곡선을 나타내었다. 이 경우에도 쇼트피닝 가공시에 열처리를 하지 않은 시편과 마찬가지로 부식전위가 상승한 것을 알 수 있고 이는 부식특성이 향상되었다는 것을 알 수 있다. 부식전류의 경우는 쇼트피닝 가공을 하지 않은 경우와 비교하여 향상되었다는 것을 알 수 있다. 이는 균열 등의 발생으로 인하여 표면부위가 요철이 상당히 심하지만, 표면부의 형상보다는 표면 압축잔류응력이 부식특성에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다.

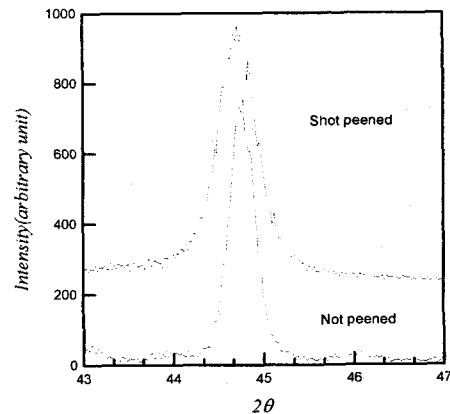
Fig. 6에는 열처리한 시험편에 대한 미소입사각 X-선 회절곡선을 나타내으며, 회절시에 검출기 조사(Detector Scan)방식으로 하였다. 검출기 조사 방식은 시험편은 고니어미터에 고정되어 있고, 검출기만 회전을 하면서 X-선을 검출하는 방식으로 표면부의 구조를 조사하는데 많이 사용되는 방법이다. 본 연구에서는 일반적인 회절방식과 검출기조사방식을 동시에 사용하여 그 차이를 조사하였는데, 전자의 경우로 X-선 회절실험을 한 결과 쇼트피닝이 재료의 구조에 미치는 영향을 검지할 수 없었지만, 후자의 방법을 이용한 경우는 결정격자의 차이점을 파악할 수 있었다.

Fig. 6의 (a)에서 보면 쇼트피닝을 하게 되면 X-선 피크의 모양이 넓게 퍼진 것을 알 수 있는데 이는 결정격자가 많은 변형을 받았다는 것을 의미한다. Fig. 6(b)와 같이 주 피크를 자세하게 관찰하게 되면 쇼트피닝 처리에 의해서 피크의 모양이 변한 것을 알 수 있다. X-선의 피크를 넓게 하는 주된 요인은 두 가지가 있다. 하나는 결정립의 크기가 미세하게 될 경우이고 또 하나는 불균일 변형에 기인하는 것이다. 쇼트피닝처리에 의해서는 두가지의 효과가 복합적으로 작용하는 것으로 보인다. 즉 쇼트볼에 의하여 재료가 변형이 되면서 결정립의 형상도 바뀌게 되어 결정립

미세화의 효과도 생긴다는 것을 알 수 있다. 즉, 위에서 열처리한 경우의 부식특성의 향상은 결정립이 많은 응력을 받았기 때문이라는 것을 알 수 있다.



(a) Wide scan.

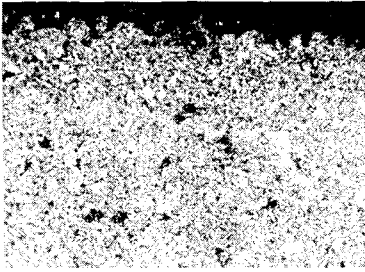


(b) Narrow scan.

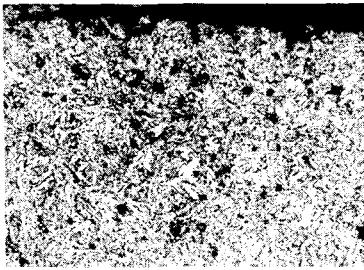
Fig. 6 X-ray diffractograms for heat treated specimens.

3.4 미시적 관찰

Fig. 7에는 열처리한 시험편의 광학현미경 사진을 나타내었다. 조직은 마르텐사이트 구조가 주를 이루고 있었다. 쇼트피닝가공에 의한 조직의 차이는 뚜렷이 나타나지 않았으나 쇼트피닝에 의해 표면부의 결정이 미세화한 것으로 보인다. 쇼트피닝에 의한 조직을 보다 자세히 관찰하기 위해서는 투과전자현미경의 관찰 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.



(a) Heat treated and not peened specimen



(b) Heat treated and shot peened specimen ($\times 600$)

Fig. 7 Optical micrograph of heat treated specimen.

4. 결론

기어강의 표면가공에 따른 특성을 살펴보기 위하여 경도, 압축잔류응력, 미세 조직의 변화, 표면 부식 등에 대하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 열처리로 인한 탈탄층 발생 시 쇼트피닝 가공으로 제거되었으며, 압축잔류응력은 상당히 증가하였다.

(2) 기계 가공부의 표면은 심하게 변형되어 있었으며, 쇼트피닝 가공부의 표면은 기계 가공에 의한 변형조직이 제거되어 평탄화 되었다.

(3) 열처리하고 쇼트피닝 가공한 상태에서는 조직의 차이는 뚜렷하지는 않으나 표면부의 결정이 미세화 되는 경향이 나타났다.

- (1) T. Burakowski, A. Nakonlecrny, 1981, "General Aspects of Shot Peening Criteria of Parameter Selection", Proc. of the 1st International Conference on Shot Peening, pp. 139-146,
- (2) J. S. Eckersley, 1988, "Shot peening theory and application, IITT International.
- (3) W. Koehler, Dr.-Ing, 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 Conference on Shot Peening, Vol. 1, pp. 126~132.
- (4) M. O. Speidel, 1981, "Effect of Shot Peening on Stress Corrosion Cracking and Corrosion Fatigue", Proc. of the 1st International Conference on Shot Peening, Vol. 1, pp. 625~635.
- (5) Kirt, D. and Jarrett, M, 1984, "Influence of Shot Peening on Fatigue and Corrosion -Fatigue Behavior of Structural Steel", Proc. of the 2nd International Conference on Shot Peening, Vol.1, pp. 133~142.
- (6) 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 Conference on Shot Peening, Vol. 1, pp. 479~484.
- (7) D. A. Johns, 1992, "Principles and Prevention of Corrosion", Macmillian Pub. Co., New York.
- (8) I. C. Noyan , J. B. Cohen, 1987, "Residual Stress Measurement by Diffraction and Interpretation", Springer-Verlag, New York.
- (9) J. L. Chaboche, O. Jung, 1988 "Shot peening profile and stress relaxation", Int'l J. of Plasticity, Vol13, No. 10, pp. 785.