

표면가공의 신뢰성향상을 위한 쇼트볼의 형상설계

이승호

경기공업대학 정밀계측과

The Shape Design of Shot Ball to Improve the Reliability of Surface Treatment

Seung-Ho Lee

Department of Precision Measurement Kyonggi Institute of Technology

Abstract

In this study, to improve the effect of the surface treatment, the shape design of shot ball is proposed. The fatigue effects of shot peening by the cut wire shot ball and the rounded cut wire shot ball are compared. The rotary bending and tensile fatigue tests are conducted on a spring steel to evaluate fatigue lives. The residual compressive stresses by the rounded cut wire shot ball is higher than by the rounded cut wire shot ball. This consequently increase the fatigue life and the reliability of surface treatment. Thus, to obtain optimum, repeatable and reliable shot peening effect the shape of the shot ball must be round.

Keywords :

1. 서 론

고강도화 및 경량화를 위한 표면처리 기술 중에 하나인 쇼트피닝은 재료의 표면에 압축잔류응력을 발생시켜 기계·구조물의 예기치 않은 파손을 방지하고 피로수명을 증가시켜 신뢰성을 향상시키는 기술로 이의 사용이 증가하고 있다. 따라서 쇼트피닝의 최적화와 재현성을 위하여 가공 변수들에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다.¹⁾ 이러한 연구에 의하면 쇼트피닝에 영향을 미치는 요소로 쇼트볼의 크기와 투사속도를 지적하고 있다. Verpoort와 Gerdes²⁾는 쇼트볼이 재료에 가하는 투사 에너지를 변화시키

기 위해서 쇼트볼의 질량, 속도, 투사량을 변경하여 시험한 결과 쇼트피닝할 때 에너지가 높은 것만이 좋은 것은 아니고 적절한 쇼트조건을 가지는 것이 좋다는 연구를 하였다.

그런데, 실질적인 가공의 측면에서 고찰하면 쇼트볼의 형상과 종류가 쇼트피닝의 효과와 경제성을 지배하므로 대단히 중요하다. 하지만 이에 대한 연구는 적은 형편이다. 쇼트볼의 형상은 일반적으로 구형이고 이의 종류로는 주물, 주강, 컷트와이어, 세라믹 등 다양하다. 쇼트피닝으로 재료의 표면에 목적인 압축잔류응력을 형성하기 위해서는 쇼트볼의 형상, 경도, 밀도, 강도 등이 장시간 일정하게 유지되

어야한다. 만일 쇼트볼이 작업중 파손되면 기계?구조물의 표면에 흠집을 내어 피로수명을 저해할 수도 있다. 따라서 쇼트볼의 설계는 쇼트피닝의 신뢰성을 확보하는데 있어 중요하다.

현재 국내에서 가장 널리 이용되고 있는 쇼트볼은 주강 쇼트볼이다. 이는 용탕을 분사하여 비산시키고, 표면장력에 의하여 볼 모양이 되는 순간 물에 떨어뜨려 급랭시켜 제작한다. 이 때문에 중심부에 수축공을 갖는 유공구가 되어 치밀하지 못한 쇼트볼이 만들어지는 경우가 있다. 따라서 주강 쇼트볼은 특별한 선별기로 굵기를 엄밀히 선별한 후 개개입자의 비중을 측정하여 속에 기포가 있는 쇼트볼을 선별해 내야한다.

주강 쇼트볼의 이러한 단점으로 인하여 컷트와이어 쇼트볼의 사용이 제안되고 있다. 이는 경강선을 일정한 길이로 절단하여 만든 것이다. 컷트와이어 쇼트볼은 질량이 거의 동일하고 입자가 균일하며 내부결함이 거의 없다. 그러나 형상이 원통형이라는 단점이 있다.

본 연구에서는 쇼트피닝의 신뢰성 향상을 위하여 쇼트볼의 형상이 피로수명에 미치는 영향을 검토하였다. 컷트와이어 쇼트볼을 사용했을 때와 컷트와이어 쇼트볼을 구형으로 연마했을 때 쇼트피닝효과의 변화를 비교하여 적정한 쇼트볼의 형상을 제시하였다.

2. 쇼트볼의 형상과 이의 영향

쇼트피닝 가공에 사용되는 쇼트볼은 반드시 일정한 크기와 날카로운 모서리 또는 깨어진 조각이 없는 구형이어야 한다. 양질의 쇼트볼은 일정한 크기를 가지며, 표면에 손상이 없이 구형화 되어 있어야 한다. 깨어지거나 날카로운 모서리를 가진 조각들은 재료의 표면에 잠재적인 손상을 줄 수 있기 때문이다.

대부분의 모든 쇼트볼에 대한 규격에서는 잠재적인 손상을 가져다 주는 깨어지거나 구형화되지 않은 쇼트볼의 양을 최소화하려고 한다. 쇼트볼 형상은

10배에서 20배 확대하여 시각적인 평가를 수행한다. 쇼트볼의 조도 또는 형상계수는 식 (1)과 같이 평가한다.⁵⁾

$$SF = (4 \log r \log A) / P \tag{1}$$

여기서, r는 형상계수, n는 쇼트볼의 면적, n는 파라미터이다. 형상계수는 원을 1.00으로 하고 선을 0으로 정의한다.

Fig. 1은 각각의 쇼트볼을 반복 측정하여 적합한 것과 부적합한 것을 스케치한 것이다. 적합한 쇼트볼의 형상 값은 0.858 또는 그 이상의 값을 갖는다. 여기서 부적합한 쇼트볼의 형상은 0.821 또는 그 이하의 값을 갖는 것이다.

적합한 구형의 쇼트볼이라도 쇼트피닝시에 충격으로 인하여 파쇄가 일어날 수 있다. Fig. 2는 사용 시간에 따른 쇼트볼의 파손 경로를 보여주고 있다. 사용 중 볼의 파쇄가 일어나면 쇼트피닝 가공면에 많은 문제를 발생시킨다. 파쇄된 쇼트볼은 재료 표면에 노치를 만들어 응력의 집중을 초래한다. Fig. 3은 쇼트피닝한 후 표면을 관찰한 결과를 보여주고

SF	0.858	0.923	0.936	0.993
Shape				

(a) Acceptable shapes

SF	0.858	0.923	0.936	0.993
Shape				
SF	0.427	0.515	0.515	0.558
Shape				

(b) Unacceptable shapes

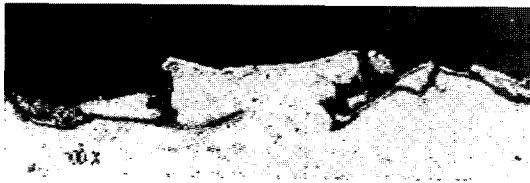
Fig. 1 Shape factor



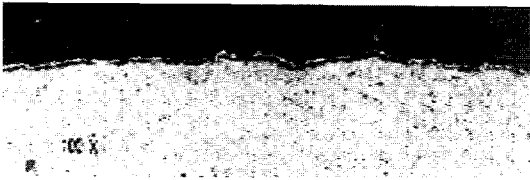
Fig. 2 Damage mechanism of shot ball during shot peening

있다. Fig. 3(a)는 파쇄된 쇼트볼에 의한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 파쇄된 쇼트볼에 의해 재료의 표면에 상당한 손상을 받았음을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 파쇄되지 않은 쇼트볼로 가공을 한 표면을 보여주고 있다. 파쇄된 쇼트볼로 가공한 표면에 비해 상당히 균일한 표면을 하고 있다. Simpson⁶⁾과 Watanabe⁷⁾는 깨어진 쇼트볼의 양이 증가함에 따라 쇼트피닝에 의한 피로효과가 감소한다고 보고하였다.

따라서 쇼트피닝의 효과를 일정하게 얻기 위해서는 파쇄가 발생하지 않는 강한 쇼트볼이 필요하다.



(a) Surface shot-peened by broken shot ball



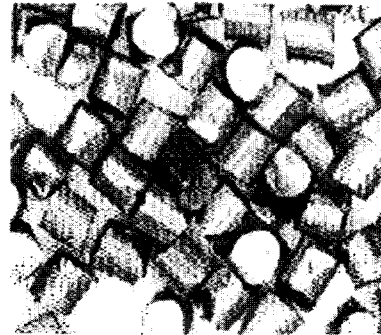
(b) Surface shot-peened by unbroken shot ball

Fig. 3 Shot-peened surfaces

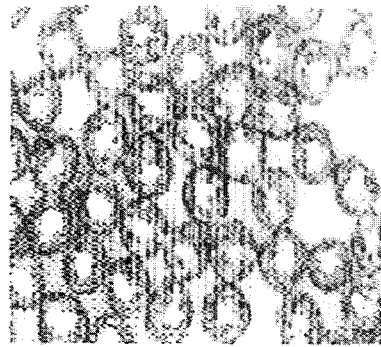
3. 시험방법

3.1 컷트와이어 쇼트볼

컷트와이어 쇼트볼은 직경 0.87mm인 경강선을 일정한 길이로 절단하여 제작하였다. 구형의 컷트와이어 쇼트볼을 얻기 위해서 쇼트볼을 원형 연마기에서 460시간 가공하였다. Fig. 4는 컷트와이어 쇼트볼과 구형화된 컷트와이어 쇼트볼의 사진이다. 그리고 Fig. 5는 컷트와이어 쇼트볼을 원형 연마기에서 가공하면서 일정시간대 별로 관찰한 결과이다.



(a) Cut wire shot ball



(b) Rounded cut wire shot ball

Fig. 4 Cut wire shot ball

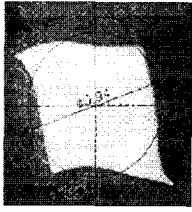
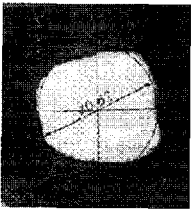
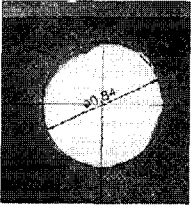
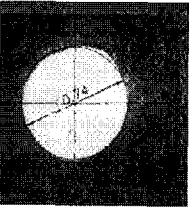
Time	0 hour	100 hour
Shape		
Time	220 hour	460 hour
Shape		

Fig. 5 Cut wire shot ball after aging

3. 2 쇼트피닝의 강도평가

컷트와이어 쇼트볼과 구형화된 컷트와이어 쇼트볼간의 강도를 측정하기 위하여 알멘스트립 A 형에 쇼트피닝 가공을 하였다. 쇼트피닝은 임펠러의 원심력을 이용하는 기계식 쇼트피닝기를 이용하였다. 쇼트피닝 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Conditions of shot peening

Impeller diameter	490mm
r.p.m.	2200rpm
Shot ball diameter	0.8mm
Exposure time	100sec

3. 3 잔류응력의 측정

시험편의 잔류응력 분포는 X-선 잔류응력 측정기 (RIGAKU-MSF-2M) 를 사용하여 측정하였다. 이때 계산법은 $2\theta-\sin^2\psi$ 법을 이용하였다. 잔류응력측정은 먼저 측정하고자하는 부위의 두께를 측정하고, 두께가 측정된 부위에서 표면층의 잔류응력을 측정 한 후, 전해연마를 실시하며 반복하여 시험편의 표면부에서 중심부로 0.25mm까지 측정하였다.

3. 4 피로시험

쇼트볼의 형상이 쇼트피닝의 피로효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 회전굽힘 피로시험을 행하였다. 시험편은 최소 직경이 6mm이고 이에 가해진 응력진폭은 686MPa 이다.

4. 실험결과 및 고찰

4. 1 쇼트피닝 강도

Table 2는 원통형 컷트와이어 쇼트볼과 구형화된 컷트와이어 쇼트볼에 의한 쇼트피닝 결과이다. 구형화된 컷트 와이어 쇼트볼의 아크하이트는 0.46mm이고 컷트와이어 쇼트볼의 아크하이트는 0.28mm이다. 구형화된 컷트와이어 쇼트볼에 의한 쇼트피닝에서 강도가 높게 나타난 것은 쇼트볼에 모서리가 없어 재료의 표면에 응력집중을 유발할 수 있는 흠집을 형성하지 않기 때문이다.

Table 2 Strength of shot peening by cut wire shot ball

Shot ball	Arc high(mm)
Cut wire	0.28mm
Rounded cut wire	0.46mm

4. 2 조도분포

일반적으로 쇼트피닝 가공을 하면 기계가공면의 조도가 향상된다. Fig. 6은 스프링강에 컷트와이어 쇼트볼과 구형화된 컷트와이어 쇼트볼로 쇼트피닝 가공한 경우에 조도의 분포를 나타낸 것이다. 기계 가공한 경우 굴곡의 중심선 산술평균값(R_a)이 15.2 μm , 굴곡 최대값(R_{max})이 115.0 μm , 10점 평균 거칠기(R_z)가 94.0 μm 로 나타났다. 컷트와이어 쇼트볼로 쇼트피닝 가공한 경우에 각각 9.38 μm , 68.0 μm , 52.6 μm 이고 구형화된 컷트와이어 쇼트볼로 쇼트피닝 가공을 한 경우에는 각각 8.84 μm , 55.2 μm , 48.5 μm 이다. 쇼트피닝한 면이 기계가공 면에 비해 조도가 향상되었으며, 구형화된 컷트와이어 쇼트볼로 쇼트피닝한 것이 컷트와이어 쇼트볼로 가공한 경우에 비해 표면 조도의 상태가 개선되었다.

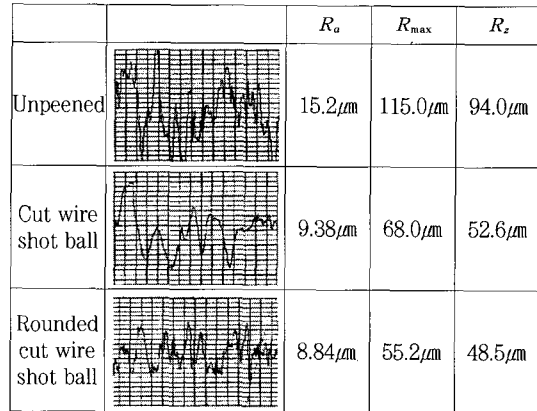
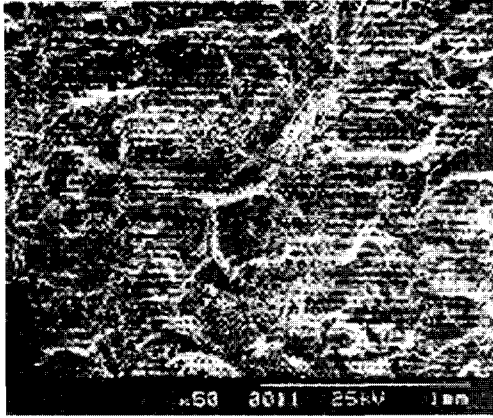
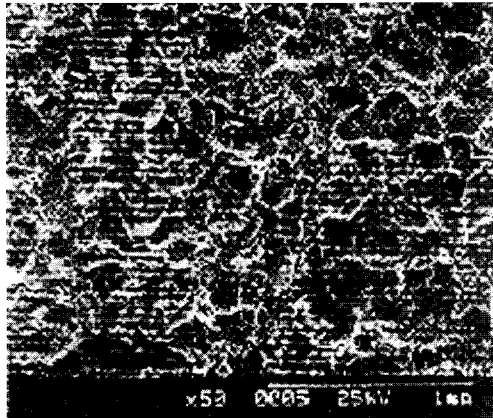


Fig. 6 Roughness on surfaces shot-peened

Fig. 7은 컷트와이어 쇼트볼과 구형화된 컷트와이어 쇼트볼을 사용하여 가공한 재료의 표면 사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 컷트와이어 쇼트볼의 경우에 예리한 모서리 부분에 의해 재료 표면에 불균일한 표면 형상을 하고 있었으며, 구형화된 쇼트



(a) Surface by cut wire shot ball



(b) Surface by rounded cut wire shot ball

Fig. 7 Microstructures of surface

볼의 조직 사진에서는 균일한 표면 상태를 나타내고 있다.

4. 3 잔류응력의 분포

Fig. 8은 쇼트피닝으로 재료의 표면에 생성된 압축잔류응력을 측정된 결과이다. 구형화된 컷트와이어 쇼트볼로 쇼트피닝한 경우에는 최대압축잔류응력이 표면으로부터 깊이 60 μ m에서 발생하였고 이의 크기는 646MPa이다. 컷트와이어 쇼트볼로 가공한 경우에는 최대압축잔류응력이 표면으로부터 100 μ m에서 발생하였고 이의 크기는 340MPa이다. 구형화된 컷트와이어 쇼트볼이 재료의 표면부에 더 높은 잔

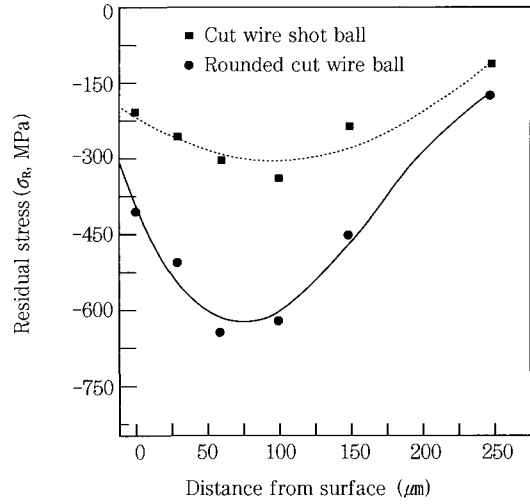


Fig. 8 Residual stress distribution produced by shot peening

류응력을 생성시키고 있다. 이는 투사된 쇼트볼이 재료와 접촉할 때 구형의 형상에서 곡부적으로 더 높은 접촉응력을 발생시키기 때문으로 사료된다. 높은 압축잔류응력은 피로수명을 현저하게 증가시킨다.⁸⁾

4. 4 피로수명

Fig. 9는 회전압축 피로시험의 결과이다. 그림에서와 같이 구형화된 쇼트볼을 사용한 경우에 피로수명이 약 2배 증가하였다. 이러한 이유는 구형화되지 않은 쇼트볼이 표면에 노치를 발생시키고 압축잔류응력 생성량이 적기 때문이다.

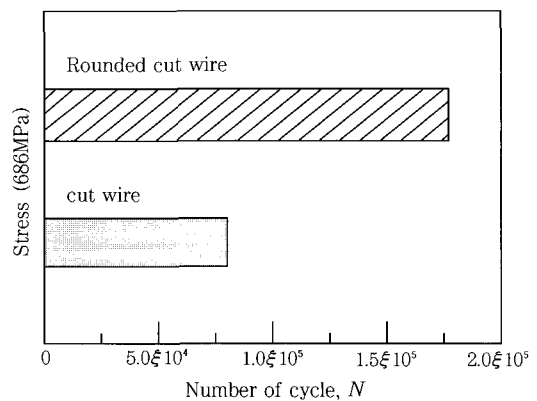


Fig. 9 Fatigue life

5. 결 론

표면가공의 신뢰성향상을 위한 쇼트피닝가공에서 피닝강도와 재현성을 갖게 하는데 있어 가장 중요한 것은 쇼트볼이며, 쇼트볼의 관리는 매우 중요하다. 본 연구에서는 쇼트볼의 형상이 표면가공에서 쇼트피닝가공의 품질에 미치는 영향을 평가하였다. 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 구형으로 설계제조된 컷트와이어 쇼트볼은 높은 쇼트피닝 강도를 나타내고 있으며 컷트와이어 쇼트볼에 의한 것보다 표면조도를 10% 정도 향상시키고 있다.

2) 구형으로 설계 제조된 컷트와이어 쇼트볼에 의한 쇼트피닝 결과 압축잔류응력이 2배정도 높게 형성되었고, 피로수명도 약 2배 증가하였다.

3) 쇼트피닝의 효과를 최대로 하기 위해서는 파쇄를 최소화 할 수 있는 균질하고 강한 쇼트볼이 요구되며 쇼트볼의 형상을 구형으로 설계제조하는 것이 효과적이다.

참고문헌

1. H. Aoki, E. n, Nagashima and T.Miura : "Effect of Shot Peening Conditions on Fatigue Strength of Carburized Steel", Proc. of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, (1990) 513
2. C. M. Verpoort and C. Gerdes : "Influence of Shot Peening on Material Properties of Turbine Blades", Shot Peening Theory and Application, Institute for Industrial Technology Transfer International, France, (1989) 11
3. R. D. Gillespie : "An Investigation of the Durability and Breakdown Characteristics of Shot Peening Media", Proc. of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, 1 (1990) 27
4. B. Gillespie D. B. Fowler : "Evaluation of Size and Shape of Shot Peening Media by Image Analysis", SAE Technical Paper Number 910926 (1991)
5. R. D. Gillespie : "Its Effect on Process Consistency and Resultant Improvement in Fatigue Characteristics", Proc. of the 5th International Conference on Shot Peening, Oxford, 1 (1993) 81
6. R. Simpson and G. Chiasson : "Quantification of the Effects of Various Levels of Several Critical Shot Peen Process Variables on Workpiece Surface Integrity and the Resultant Effect on Workpiece Fatigue Life", WPAFB AFWAL-TR-89-3029 (1989)
7. Y. Watanabe N. Hasegawa K. Namiki and A. Hatano : "The Influence of Broken Shots on Peening Effect of Hard Shot Peening", Proc. of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, 1 (1990) 63
8. Ebenau, A. D. Lohe, O. Vohringer, E. Macherauch : "Influence Shot Peening on the Microstructure and the Bending Fatigue Strength of Bainitic-austenitic Nodular Cast Iron", Proc. of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, 1 (1990) 389

received day : 2002.11. 8

accepted day : 2002.12.18