

고강도 강판의 성형성에 미치는 Shot Blasting 가공 조건의 영향

박기철[#], 김재익¹

Effect of Shot Blasting Treatment on the Formability of Thin High Strength Steels

K. C. Park, J. I. Kim

Abstract

In order to study the effect of shot blasting condition on the formability of thin high strength steels, specimens were made by changing line speed of a commercial shot blasting plant with maintaining constant impeller condition. Surface roughness of prepared specimens was multiplied by lowering line speed or increasing density of shot impact. Formability was reduced as increasing shot impact. The elongation and stretching formability of shot blasted sheet were decreased by about 10% compared to original sheet. More significant decrease in bending formability was observed after shot blasting. This might be due to the concentrated impact near the surface where major strain occurs during bending process.

Key Words: Shot Blasting, High Strength Steel, Formability, Bending, Stretching, Minimum Allowable Bending Radius, LDH, Tensile Properties

1. 서 론

수송기기의 경량화 추세에 따라서 각종 운반기들이 경량·고강도화 되고 있다. 이러한 경량 고강도화를 위한 강판 중에서 도장 특성이 중요한 용도에서는 전처리로 shot blasting 및 하지(primer) 도장 후에 부품 프레스 가공이 이루어지는 경우가 있다. 수송기기용의 연성이 작은 경량 고강도 강판에 대하여 성형성에 미치는 쇼트 블라스팅(shot blasting) 조건의 영향을 연구하였다.

쇼트 블라스팅 가공 기술은 국내에는 1970년대 초반 쇼트 블라스트 기계로 들여와 주물·공장, 철강공장에서 스케일 제거를 하는 기술로 시작되었다. 이 가공은 쇼트 피닝 (shot peening)에 속하는 것으로 전 세계적으로는 1920년대에 개발되어 1940년대부터 공업에 널리 응용되기 시작하였다. 금속 쇼트 볼(shot ball)이라는 강구를 고속으로

투사하여 금속 표면을 해머링(hammering)하는 일종의 냉간 가공이다[1]. Fig.1 과 같이 쇼트 볼이 금속 표면에 고속 충돌하면서 쇼트 볼의 운동에너지가 순간적으로 재료 표면에 소성변형 (plastic deformation)을 주고 표면에서 이탈한다.

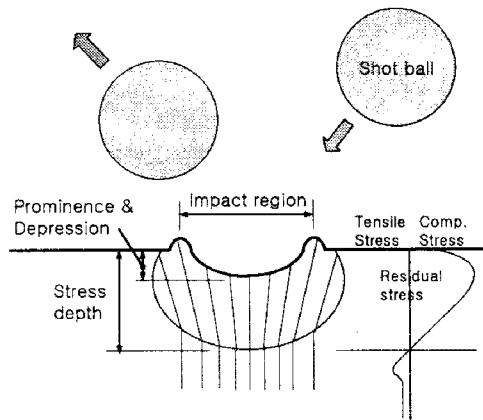


Fig.1 Shot blasting process and material deformation.

1. POSCO 기술연구소

교신저자: POSCO 기술연구소, E-mail: parkkc@posco.com

쇼트 볼과 충돌 후 표면 층에는 요철이 발생하고 소성변형과 탄성변형의 경계가 형성된다. 따라서 들어나려는 표면층을 들어나지 않은 상태로 유지하려는 힘이 작용하게 되어 표면은 잔류 압축응력 그리고 내부는 인장응력 상태에서 평형을 이루게 된다[1].

쇼트 피닝 가공에서 작은 금속 볼에 의한 충격에 의한 소성변형 영역은 소트 볼의 속도, 쇼트 볼의 직경 그리고 가공 재료의 경도에 대한 함수 관계를 갖는다. 쇼트 블라스트 가공에 의한 소성변형층은 잔류응력 발생과 더불어 경도의 변화를 가져온다. 이 변형층의 경도 분포에는 가공경화 (work hardening) 와 가공연화 (work softening) 을 나타낸다[1].

본 연구에서는 경량 운송기구용 고강도 강판을 이용하여 판재 쇼트 블라스팅 설비에서 일정한 쇼트 임펠러(impeller) 조건에서 설비(line) 속도를 변경하는 방법을 적용하여 제작한 시편으로 성형 특성 변화를 시험하고 그 결과를 고찰 하였다.

2. 실험 방법

2.1 쇼트 블라스팅 조건 변경 시험

쇼트 블라스트 가공은 쇼트 볼이나 그릿 (grit) 을 사용하여 강판 등에 형성된 녹(scale) 및 덧살 등을 제거하여 표면 청정 및 paint anchoring 을 위한 표면거칠기를 부여하여 도장의 품질을 높이는 목적으로 시행한다. 쇼트볼이나 그릿을 초당 약 100m 의 속도로 피가공물에 투사하여 그 입자가 갖는 운동에너지가 피 가공물 표면에 타격을 가하여 도장하고자 하는 강판 표면의 오염물질을 도장 전 완전히 제거하기 위한 방법이다.

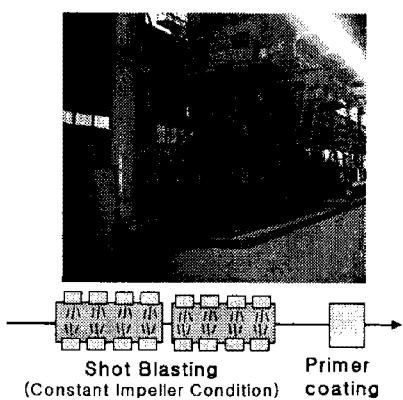


Fig.2 Shot blasting line for specimen treatment.

Fig.2 는 시편을 준비한 쇼트 블라스팅 설비이다. 상·하부 각각 8 개의 impeller 에서 가공이 연속으로 되는 구조이다. 0.8mm 직경의 cut wire shot 을 사용하며 0.6mm 직경까지 사용한다. 시험한 impeller 조건에서 line 속도가 5mpm 인 경우가 해상용 컨테이너 가공 조건인 95% coverage 로 shot blasting 을 하는 조건이다. 시험은 1.1mm 두께에 항복강도 700MPa 급인 고강도 강판을 사용하였으며, 시험한 line 속도 조건은 4, 5, 7, 9, 11mpm 이다.

Coverage 는 쇼트볼이 투사되어 물체에 표면을 타격한 밀도를 나타낸다. 100% 커버리지는 금속의 원래 표면이 쇼트 자국에 의하여 겹쳐지면서 얼래 표면 상태가 사라지는 때를 말한다. 커버리지는 쇼트 볼에 노출시킨 시간에 따라서 주로 결정된다. 쇼트 블라스트 가공에 노출된 시간과 커버리지 정도 사이에는 일정한 관계가 존재한다. 이 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다[1].

$$C = 1 - (1 - C_1)^n \quad (1)$$

여기서

$C = n\text{-cycle}$ 동안 쇼트 가공 후의 커버리지

$C_1 = 1\text{-cycle}$ 동안 쇼트 가공 후의 커버리지

$n = \text{cycle 수}$

위의 (1) 식에서 11mpm 인 경우를 1cycle 로 생각하고 line 속도의 역수로 각 조건의 시험 cycle 을 상대적으로 계산하여 각 시험조건에 따른 표면의 쇼트 블라스팅 coverage 를 구하면, 4mpm 은 98%, 5mpm 은 95%, 7mpm 은 88%, 9mpm 은 81%, 그리고 11mpm 은 74% 수준이 된다.

2.2 Shot Blasting 강판의 성형성 시험

Coverage 별 시편에 대하여 인장시험(KS13B), 굽힘 성형성 시험 그리고 신장(stretching) 성형성 시험을 실시하였다. 굽힘 시험 방법은 Fig.3 그리고 신장 성형성 시험방법은 Fig.4 와 같다.

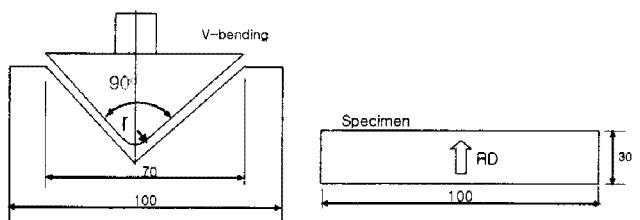


Fig.3 Bending test tool.

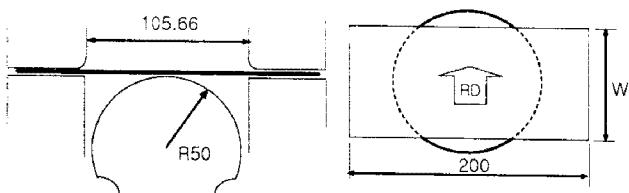


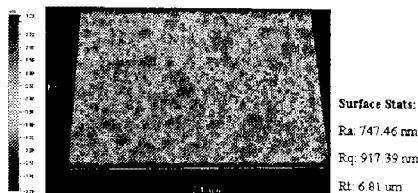
Fig.4 Stretching test tool.

그리고 실제 판재 성형에서의 결과를 보기 위하여 컨테이너의 roof 성형성 시험을 실제 금형을 이용하여 수행하여 그 결과를 검토하였다.

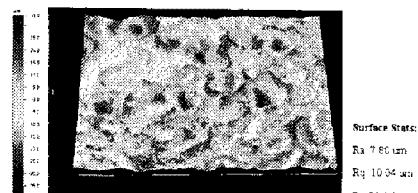
3. 실험결과 및 고찰

3.1 Shot Blasting 시편 표면 형상

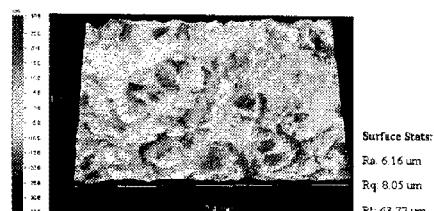
Shot blasting 조건 별 시편 표면 형상을 Fig.5에 정리하였다.



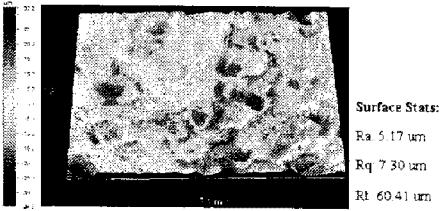
(a) Original Sheet ($Ra=0.75 \mu m$)



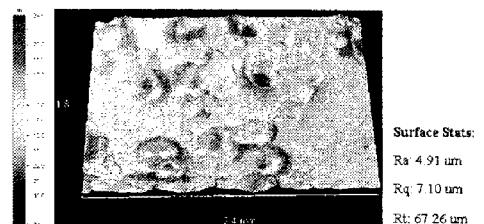
(b) Line speed=4mpm ($Ra=7.80 \mu m$)



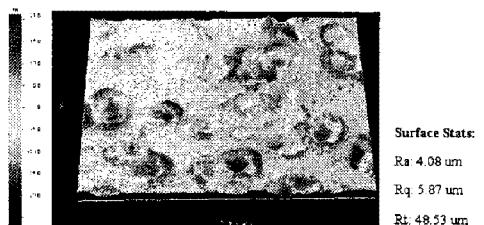
(c) Line speed=5mpm ($Ra=6.16 \mu m$)



(d) Line speed=7mpm ($Ra=5.17 \mu m$)



(e) Line speed=9mpm ($Ra=4.91 \mu m$)



(f) Line speed=11mpm ($Ra=4.08 \mu m$)

Fig.5 Shot blasted surface of specimen and roughness.

3.1 Shot Blasting에 따른 성형 특성변화

Shot blasting 가공된 강판의 인장시험 결과를 Table 1에 정리하였다. Shot coverage가 커질수록 항복강도는 감소하나 성형성의 지표인 연신율 또한 작아짐을 알 수 있다. 따라서 연신율의 영향을 많이 받는 굽힘 및 신장 성형성이 감소할 것임을 예상할 수 있다.

Table 1 Mechanical properties of shot blasted sheet.

Shot Condition	YS (MPa)	TS (MPa)	YP-EI. (%)	U-EI. (%)	T-EI. (%)
CR	807	824	4.1	7.4	12.5
4mpm	723	823	-	5.4	8.0
5mpm	735	837	-	5.9	10.3
7mpm	740	830	-	6.2	10.8
9mpm	749	826	-	6.4	11.0
11mpm	751	823	-	6.7	11.4

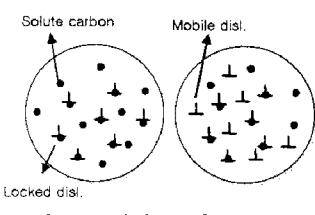


Fig.6 Microstructure evolution of carbon steels after annealing, shot blasting.

쇼트 가공 후에 항복강도가 감소하는 이유는 소둔(annealing) 과정에서 고착된 전위가 쇼트 블라스팅 가공에 의한 소성변형에 의하여 가동전위로 변화되었기 때문이다. 그리고 연성의 저하는 소성 가공에 따른 연성 감소 때문으로 생각된다.

Shot Blasting 전 강판 및 shot blasting 가공 후 강판의 굽힘 시험 시편과 시험한 결과를 강판의 Ra (average roughness) 로 정리한 결과를 Fig.7 에 나타내었다.

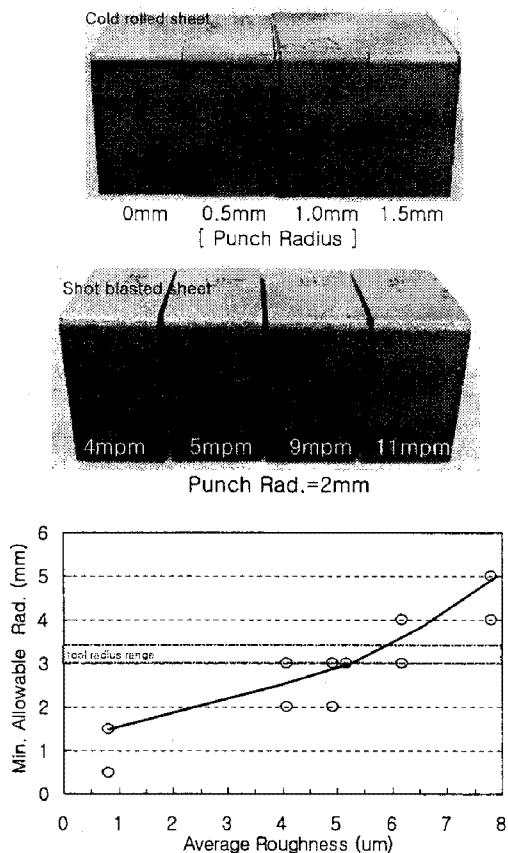


Fig.7 Tested specimen and minimum bending radius and shot blasted surface roughness.

굽힘 성형성은 shot blasting 에 의하여 표면이 손상된(거칠어진) 정도에 관계 있음을 알 수 있다. 그리고 강판 전처리 조건에 따른 성형성 감소를 고려하여 충분한 성형성을 원판에서 확보할 필요가 있음을 알 수 있다.

신장 성형성 시험 시편과 한계성형높이(LDH; limit Dome Height)로 정리한 시험 결과는 Fig.8 과 같다. 신장 성형성의 경우 shot blasting 가공을 받은 강판은 원판에 비하여 약 10% 정도 성형성이 감소하며 shot 가공이 심할수록 감소도 커진다. 그러나 굽힘 성형성과 같은 큰 영향이 나타나지는

않음을 알 수 있다. 이는 굽힘의 경우 변형이 쇼트가 집중적으로 작용한 표면에 변형이 집중하는 반면 신장 가공에서는 두께 전체에 변형이 나타나는 원인으로 보인다. 실제 수용기기 부품 금형에 5, 7, 9, 11mpm 에서 가공한 시편을 primer coating 후에 적용하여 가공한 결과 5mpm 조건의 shot 가공 강판에서만 크랙이 발생하였다. Fig.8 의 시험 결과와 일치하는 결과로 생각된다.

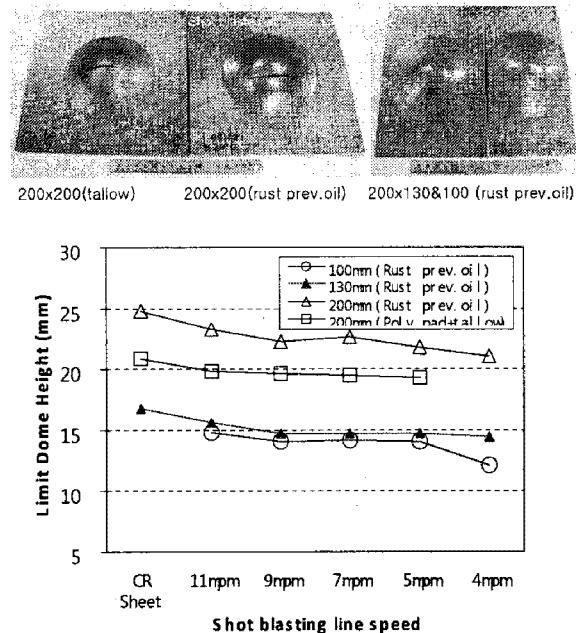


Fig.8 Limit dome height and stretching formability.

4. 결 론

쇼트 블라스팅 가공 수준을 달리한 운반기기용의 얇은 고강도 강판에 대하여 인장, 굽힘 및 신장 성형성 변화를 시험하여 다음을 알 수 있었다.

(1) Shot blasting 가공을 심하게 받을수록 연성은 감소(10% 수준)하였고 시효특성은 사라졌다.

(2) 쇼트 블라스팅 가공을 받음에 따라서 최소 굽힘 곡률반경으로 표시한 강판의 굽힘 가공성은 2배 수준으로 감소하였으며, shot 가공이 심할수록 그 변화도 커졌다. 신장 성형성에 있어서도 쇼트 가공이 심할수록 성형성은 저하하나, 그 저하 정도는 약 10% 수준이었다.

참 고 문 헌

- [1] 정성균, 이승호, 2001, 쇼트피닝 가공개론, 도서 출판 세화, 서울, pp. 3~75.