

티타늄 합금 안경테흡선 제조에 관한 연구

김상연^{1*}

¹대구보건대학 안경광학과

Study on The Manufacturing of The Titanium-Alloyed Eyerim

Sang-Yeoun Kim^{1*}

¹Dept. of Ophthalmic Optics, Daegu Health College

요 약 티타늄합금 안경테 흡선을 제작하기 위한 냉간 압연 롤러를 설계하고 제작 후 그에 대한 성능 평가를 실시하였다. 롤러의 표면 거칠기 값은 $Ra=0.05-0.15\mu m$ 이고 $Rz=0.23-0.67\mu m$ 였다. 이 값은 티타늄안경테 PVD(Physical Vapor Deposition)도금을 위한 바렐 연마 후 측정된 표면 거칠기 값 $Ra=0.04\mu m$, $Rz=0.3\mu m$ 과 비교할 때 만족할만한 결과였다. Ti-3Al-2.5V(Half titanium)와이어를 냉간 압연한 결과 경도가 221Hv, 247Hv(1st), 270Hv(2nd)등으로 증가하므로 적절한 열처리와 다단압연공정이 필요함을 알 수 있었다.

Abstract After the design and production of cold rolling to make titanium-alloyed(Gr.9) eyerim, the function of the roller was evaluated. The surface roughness values of the roller of Ra was $0.05-0.156\mu m$ and of Rz was $0.23-0.67\mu m$. The values showed a satisfactory result compared with the surface roughness values Ra was $0.04\mu m$ and Rz was $0.3\mu m$ which was measured after barrel polishing for the titanium eyeglasses frame PVD (Physical Vapor Deposition) gilding. As a result of cold rolling of Ti-3Al-2.5V (Half Titanium), the degree of hardness increased to 221Hv, 247Hv(1st), 270Hv(2nd), etc. Therefore, it was found that proper heat treatment and multi-stand rolling process are necessary.

Key Words : Titanium, Eyerim, Cold rolling, Gr.9, Ti-3Al-2.5V

1. 서론

안경테에 사용되는 소재의 변천사를 보면 과거에는 셀룰로이드 안경테가 많이 사용되었으나 1980년대 이후 거의 양백이나 모넬을 사용한 금속 테를 많이 사용하여왔고 현재에는 더욱 고기능성을 갖는 가볍고 탄성이 좋고 내식성에 강한 티타늄 합금 테가 주종을 이룬다. 티타늄 안경테를 제작하기 위해서는 티타늄가공 관련 기술의 확보가 필수적이고 그중 땀납기술은 매우 중요한 요소기술이다. 국내에서는 이러한 안경테 제조 기술을 향상시키기 위한 자동화 기술개발이 연구되었으며 안경테 다리부분을 제작하기 위한 자동화기도 연구 된 적이 있다[1,2]. 티타늄 안경테는 특수하게 제작된 장치를 사용하여 제조하는 어려움으로 인해 국내 티타늄안경테 생산기반은 매우 취약하고 관련부품의 대외 의존성도 매우 높은 실정이다.

다. 특히 티타늄 흡선 부분은 안경테의 중요한 부품임에도 불구하고 전량 수입에 의존하고 있으며 상당히 고가로 유통되어 지역 안경제조업체의 경쟁력을 약화시키는 주요 원인이다. 티타늄 흡선은 적당한 탄성과 경도를 가진 티타늄와이어를 압연하여 제조한다. 그러나 티타늄이 갖는 특성상 압연 시 소착이 많이 되고, 압연 소재의 경도가 높아 사용하는 압연롤러도 초경 롤러를 사용해야함으로 아직 국내 안경업계에는 그러한 장비가 구축되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구를 통해 티타늄 안경테용 흡선 개발에 필요한 냉간 압연 공정기술 및 롤러를 개발하고, 이를 사용하여 안경테 흡선을 가공하여 그 특성을 조사해 보고자 한다.

2. 안경테 흡선 제조 과정 및 분석

*교신저자 : 김상연(sykim@dhc.ac.kr)

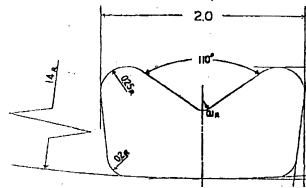
접수일 11년 02월 11일

수정일 11년 02월 17일

게재확정일 11년 03월 10일

2.1 안경테 흡선용 롤러제작

아직 국내에서는 티타늄 안경테 흡선이 개발되어 있지 않고 전량 수입에 의존하고 있다. 티타늄의 냉간압연에는 압연 시 타 재료보다 외부에서 공급되는 에너지가 열의 형태로 모재 내에 존재하므로 열의 방출이 문제시 되고 있으며 따라서 각 업체마다 티타늄 가공에 대해 각기 노하우를 가지고 있어 공개가 잘 이루어지지 않는 실정이다. 그림 1에 티타늄 안경테의 흡선의 모양을 나타내었다.



[그림 1] Profile of titanium eyerim

외국의 경우 티타늄 안경테는 다양한 profile의 eyerim 이 개발되어 있고 이를 만들기 위해서는 다양한 형태의 압연롤러가 개발 되어야 하지만, 본 연구에서는 가장 안경테 제조에 많이 사용하는 형태의 흡선을 개발 해 보고자 한다.

티타늄 합금은 상온에서 안정한 상의 종류에 따라서 α , $\alpha + \beta$ 및 β 합금의 3종류로 크게 구별되며, 가공성은 합금의 종류에 따라서 다르다. α 합금 및 $\alpha + \beta$ 합금은 상온에서 연성이 낮아서 성형가공도 중간이나 열간에서 해야 한다. 한편, β 합금은 용체화 처리된 상태에서는 연성이 우수하기 때문에 냉간 압연이나 상온에서 성형가공이 가능하다. 이런 종류의 합금은 상온에서 성형한 뒤 시효 처리함에 따라 1,500MPa 급의 강도를 가질 수가 있기 때문에 장래의 고비강도 성형품의 소재로서 주목받고 있다. 실용 티타늄 합금으로서 많은 종류가 개발되어 있지만 선이나 판 재료로서 사용되는 대표적인 합금으로서는 Ti-5Al-2.5V (α 합금), Ti-3Al-2.5V, Ti-6Al-4V($\alpha + \beta$ 합금), Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al (β 합금) 등이 있다. 이들 티타늄합금에 대해서는 각종 용도로의 적용 연구가 진행되고 있지만, 기본적인 성형성에 관한 데이터는 많지 않다.

티타늄 합금은 순 티타늄에 비해서 고(高)강도, 저(低)연성이며, 특히 Ti-6Al-4V은 500℃ 이상 고온에서는 연성이 급격히 상승하여 성형성이 대폭 개선된다. 따라서 이 합금의 상온에서의 성형은 겨우 굽힘 가공 정도가 가능하며, 각종 방법으로 열간에서 성형 가공할 수 있다. 같은 $\alpha + \beta$ 합금에 속하며 합금 원소량이 적은 Ti-3Al-2.5V는 비교적 연성

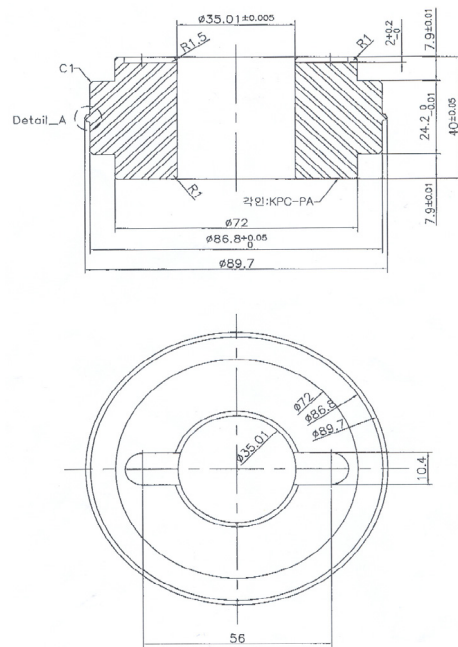
이 높기 때문에 성형이 정밀하게 이루어진다면 상온에서의 가공도 가능하다.

더구나, $\alpha + \beta$ 합금은 일반적으로 열간 가공이나 열처리의 조건에 따라서 조직, 연성, γ 값을 기초로 하는 특성 등이 크게 변화하기 때문에 성형 가공을 할 경우에는 소재의 선정에 주의해야 한다. 따라서 본 연구에서는 순 티타늄선이나 Ti-6Al-4V보다 Ti-3Al-2.5V성분의 선재를 사용하여 개발하였다.

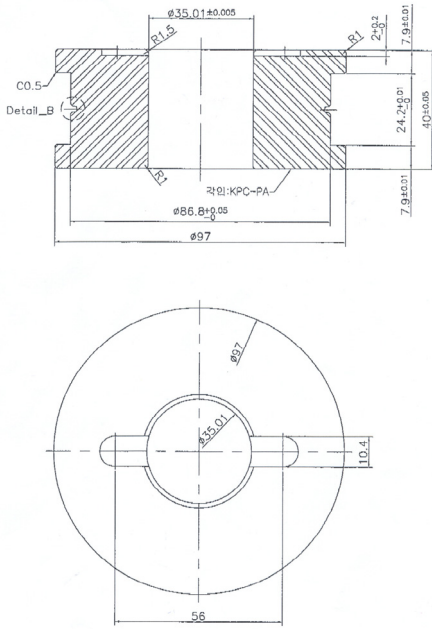
압연 롤러는 상하 두 개의 부분으로 나누어지고 각기 원하는 형상을 얻기 위해 적절한 허용치수가 주어진다. 통상 몸통부에 충격 흡수 층을 형성하여 충격 흡수 능력을 극대화하고 외주부에는 마모에 강한 텅스텐 카바이드를 접합하여 오랜 수명을 유지하도록 제작한다. 제작은 전문 업체에 의뢰하여 제작하였으며 관련 노하우는 잘 유출되지 않는 실정이다. 제작된 롤러는 KS B 0161 규격에 의하여 측정하였고 그 결과는 공인기관에서 확인하였다[3].

[표 1] 압연롤러의 소재특성

Density (g/cm ³)	TRS (kg/mm ²)	Compressive Strength(kgf/mm ²)	Magn. Satur. (Gcm ³ /g)	Hardness (HRa)
14.9	270	500	90~120	91.0~92.0



[그림 2-a] 롤러(upper part)



[그림 2-b] 롤러(down part)



[그림 2-c] 압연롤러

2.2 압연롤러의 표면 거칠기 및 치수측정

제작된 압연롤러의 설계치수와 형상이 그림2-a,b,c에 나타나 있다. 롤러는 WC 93~95%, Co 5~7%를 PM(powder method)법에 의해 제작하여, 기계적 가공만 실시하였고, 강도는 HRa 91~92 정도였다. 초경 Roller는 소결 제작하므로 열처리가 필요 없으며 치수변형이 적고 마찰계수도 $15 \times 10^{-7} \text{cm}^2$ 로 내마모성이 큰 것이 특징으로 제작된 흡선 가공용 롤러의 물리적 성질을 표 1에 나타내었다.

압연롤러를 사용하여 티타늄 흡선을 가공하기 전 압연롤러의 물리적인 치수와 표면 거칠기를 조사하였다. 왜냐하면 냉간 압연된 흡선의 품질은 압연롤러의 표면 거칠기와 치수의 안정성에 의해 좌우되기 때문이다. 상·하형 롤러의 측면과 날 부위의 표면 거칠기 값을 티타늄안경테 바렐연마 시간에 따른 표면 거칠기와 비교하여 표 2

에 나타내었다[4]. 압연롤러는 상하 두 개가 1조를 이루어 있으며 압연 후 흡선의 모양이 그림 1과 같은 형상이나오도록 설계되어 있으며 치수의 측정 값은 표 3에 나타내었다.

[표 2] 롤러의 표면거칠기

측정항목		측정값(TE-04-01371) unit: μm			
		A-1	A-2	B-1	B-2
표면 거칠기 (측면)	Ra	0.15	0.15	0.13	0.05
	Rz	0.67	0.74	0.59	0.40
표면 거칠기 (날부위)	Ra	0.06			0.06
	Rz	0.25			0.23
표면 거칠기* (연마시간)	Ra	0.16(4시간)	0.09(8시간)	0.04(20시간)	
	Rz	0.9	0.6	0.3	

*:티타늄안경테 PVD(Physical Vapor Deposition)도금을 위한 바렐 연마 시간에 따른 표면 거칠기

[표 3] 압연롤러의 치수

구분	순번	측정항목	도면치수(mm)	측정값(mm)	
				B-2	A-1
상	1	거리	1.93	1.916	1.924
			0.45	0.452	0.453
	2	R값	0.5	0.52	0.50
			0.2	0.48	0.52
		0.2	0.28	0.21	
		0.2	0.30	0.22	
			0.15	0.18	
구분	순번	측정항목	도면치수	측정값	
				B-1	A-2
하	1	거리	3.4	3.287	3.283
			2.2	2.205	2.201
			1.98	1.979	1.981
	2	R값	0.2	0.22	0.15
5.0			5.07	5.03	
0.2			0.16	0.20	

2.3 티타늄 와이어 냉간압연

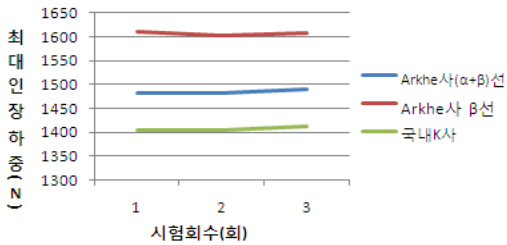
티타늄 금속의 압연은 열간 가공[5]과 냉간가공이 있으나 본 연구에서 제작하고자 하는 흡선은 안경의 상품성을 좌우하는 매우 중요한 부품이고 이들은 냉간가공에 의해 표면의 광택을 유지하여야 하고 최종 표면처리에 미려한 색상을 낼 수 있는 표면 거칠기 값을 가져야 한다.

국내에는 아직 안경테용 티타늄소재가 개발되어 있지 않다. 그래서 국내시장에 유통 중인 티타늄 소재 중 몇 종류에 대해 성분 분석을 한 결과를 표 4에 나타내었다.

만능재료시험기(INSTRON 5569)를 사용하여 이들의 최대 인장하중을 측정된 결과를 그림 3에 나타내었다.

[표 4] 티타늄선재의 성분(직경 1.6mm)

구분	화학성질							
	C	Ti	O	N	Fe	H	Al	V
국내K사 ($\alpha + \beta$ 합금)	0.01	Bal	0.1	0.03	0.1	0.001	2.8	2.6
Arkhe ($\alpha + \beta$ 합금)	0.01	Bal	0.1	-	-	-	2.86	2.33
Arkhe (β 합금)	0.01	Bal	0.159				3.68	21.1



[그림 3] 티타늄선재의 기계적 특성

이러한 여러 기초적인 자료를 토대로 시중에 유통되는 일반적인 티타늄선재를 사용하기 보다는 흡선 용으로 가장 많이 유통되는 직경 1.6mm Half Titanium Wire(Gr9, Ti-3Al-2.5V)를 사용하여 안경용 티타늄 흡선을 제작하고자 하였으며, 이들의 화학적 성분을 최근 대구보건대학교 (주)KPC가 개발한 Gr.9 (VS96)의 잉고트 성분[6]과 비교하여 표 5에 함께 나타내었다.

[표 5] Gr.9(Ti-3Al-2.5V)의 성분[wt.%]

Elements	Ti	V	Al	Fe	N	O	H (ppm)	C
ASTM B863	Bal.	2.5	3.0	0.25	0.03	0.15	125	0.08
Results	Bal.	2.34	2.83	0.08	0.01	0.08	3	0.01
VS96 ⁶⁾	Bal.	2.41	2.8	0.085	0.011	0.11	10	0.008

이들을 사용하여 2차에 걸쳐 냉간 압연 함으로써 흡선을 제작하였는데 다음과 같은 절차를 거쳐 수행하였다 [7,8].

직경 1.6mm의 Gr.9(Ti-3Al-2.5V)를 흡선으로 가공하고자, 1차 압연하여 1.3mm 두께의 flat모양으로 만들고, 이를 다시 2차 두께 1.0mm의 최종 V형으로 냉간 성형하였다. 이때 가공속도를 6m/min 이하로 유지하였다. 가공속도가 증가하면 생산성은 증가하지만 품질이 떨어질 수 있다. 왜냐하면 냉간 가공 시 가공도가 많을수록 소

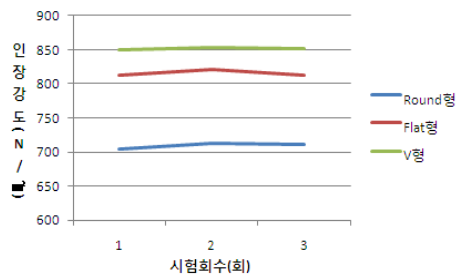
재의 경도와 탄성이 증가하기 때문이다.

본 연구에서는 흡선 가공을 하기위해 사용한 장비는 독일 HMP에서 제작한 소형 압연기 (Rolling Machine DW2A)이고 그림 4와 같다.



[그림 4] 냉간가공기(DW2A)

KS B 0811:2003의 시험방법으로 Gr.9, 1차압연재(Flat형), 2차 흡선재(V형)의 비커스경도를 측정하고 결과 221Hv, 247Hv, 270Hv로 측정되었으며, 인장강도를 측정 한 결과를 그림 5에 나타내었고, 가공경화의 영향이 뚜렷이 나타났으며 표면 거칠기의 변화와 치수측정결과는 표 6에 나타내었다.



[그림 5] 티타늄선재 인장강도변화

[표 6] 표면거칠기의 변화와 치수측정결과

구분	측정항목	도면치수 (mm)	측정값		
			원형	플랫형	V형
1	표면 거칠기	$R_a(\mu m)$	0.07	0.04	0.08
		$R_z(\mu m)$	0.65	0.31	0.72
2	거리	2.0	1.98		
		1.1	1.17		
	R값	R0.25	0.30		
		R0.20	0.38		
각도	110°	113° 38'			
	사잇각(12°)	14° 57'			
R값	R0.20	0.19			
	R14.0	10.32			

이 값은 고품질의 티타늄안경테 PVD(Physical Vapor Deposition)도금을 위해 바렐 연마 시 20시간 연마 후 측정된 $R_a = 0.04\mu\text{m}$, $R_z = 0.3\mu\text{m}$ 와 비교할 때 본 롤러를 사용하여 압연한 흡선은 충분한 좋은 품질이 될 것을 예상할 수 있었다.

3. 결과 고찰

안경테의 상품가치는 최종표면처리를 어떻게 하느냐에 달려있고 특히 이것은 연마와 밀접한 관련이 있다. 안경테 최종표면처리에는 습식도금과 PVD도금이 있다. 본 연구에서 제작한 롤러의 표면 거칠기 값이 $R_a = 0.05 \sim 0.15\mu\text{m}$ 이고 $R_z = 0.23 \sim 0.67\mu\text{m}$ 로서 고품질인 PVD도금을 위한 표면 거칠기 값 $R_a = 0.04\mu\text{m}$, $R_z = 0.3\mu\text{m}$ 과 비교할 때 표 2에 보인 것 같이 만족 할만 한 결과를 얻었다. 또한 안경테 흡선의 최종 형상과 관련된 압연롤러의 치수변화를 살펴볼 때 굴곡진 부분(R값)이 설계도면과 미소한 차이가 있음을 알 수 있었다. 이들은 실제 다양한 소재의 가공을 통해서 그 차이가 실제 소재 가공에 미치는 영향을 측정하여 보아야 할 것이다.

표 5의 Half Titanium Wire(Ti-3Al-2.5V)의 성분 분석결과 국내에서 제작한 인고트의 성분 중 특히 O, N, Fe, C는 국제규격 및 외국산보다 매우 소량이 포함된 우수한 결과를 보였고, 이후 인고트를 가공하여 직경 1.5~5.0mm와이어를 만들 수 있는 가장 경제적인 공정개발이 계속되어야 하겠다.

직경 1.6mm Ti-3Al-2.5V 와이어를 2차에 걸쳐 냉간압연 가공한 후 측정된 최종 표면 거칠기 값이 $R_a = 0.08\mu\text{m}$, $R_z = 0.72\mu\text{m}$ 임을 볼 때 외형상 압연이 잘 이루어짐을 알 수 있었지만, 가공경화에 의해 경도 값이 221Hv, 247Hv, 270Hv로 증가하므로 단면감소에 의한 결함 등 금속 조직의 불안정한 상태에 대해서는 더욱 면밀한 연구가 필요하다.

4. 결론

티타늄 안경테용 흡선 제조용 냉간가공 롤러를 설계 제작하여 직경1.6mm Half Titanium Wire(Ti-3Al-2.5V)를 사용하여 흡선을 제조하였다. 표면 거칠기 값은 만족할만한 수준이었고 굴곡진 형상과 관련된 R값은 미소한 차이가 있었다. 값은 미소흡선을 개발하기 위해서는 다단 냉

간압연을 실시할 필요 외에 열처리작업을 병행하여야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Jee Y. K. & K.H.S & K.T.C & K.H.N, "Automation of Glasses frame Rim-Lock electric Welding", Journal of KIIEE, 1998, Vol.12, No.3, 22-28
- [2] Gun H. K. & K. S. K, "Optimum Design of Temple Machining Center", Korean Society for Precision Engineering, 1998, 1124-1127
- [3] 시험성적서, 대구기계부품연구원, TE-04-01371, 2004
- [4] Sang-Yeoun Kim, "The Study of The PVD(physical vapor deposition) processing condition of Titanium Eyewear", 대구보건대학 논문집, 2008, V28, No1, 1-12.
- [5] Lee Y. Kim HJ. Hwang SM, "Analytic model for the prediction of mean effective strain in rod rolling process", Journal of Materials Processing Technology, 2001, V.114 N.2, 129-138.
- [6] Sang-Yeoun Kim, "The Study on Titanium wire rod by Kocks Mill process", 대구보건대학 논문집, 2009, V29, No1, 189-203.
- [7] Lee Y. Kim YH, "Approximate analysis of roll force in a round-oval-round pass rolling sequence", Journal of Materials Processing Technology, 2001, V.113 N.1-3, 124-130.
- [8] Lee Y. Choi S. Hodgson PD. "Integrated model for thermo-mechanical controlled process in rod(or bar) rolling", Journal of Materials Processing Technology, 2002, V.12r 126, 678-688.

김 상 연(Sang-Yeoun Kim)

[정회원]



- 1977년 2월 : 경북대학교 문리대 물리학과(이학사)
- 1984년 8월 : 영남대학교 이과대학원(이학석사)
- 1989년 2월 : 영남대학교 이과대학원(이학박사)
- 1994년 4월 ~ 현재 : 대구보건대학 안경광학과 교수

<관심분야>
안경테 금속 소재, 안경렌즈