

SUS 304 마이크로 와이어 직선화 처리에 관한 연구

Study on Micro Wire Straightening Process in SUS 304

신 홍규, 김 남수, 김 웅겸, 홍 남표, 김 병희, 김 현영

Shin, Hong-Gyu Kim, Nam-Su Kim, Woong-Kyum Hong, Nam-Pyo
Kim, Byeong-Hee Kim, Heon-Young

Abstract

In the study, we have developed a straightening system for the SUS 304 micro wires that are normally used in the medical and semi-conductor fields. To apply heat to the micro wires, we introduced the direct wire heating method which generates the thermal energy by the electrical resistance of the wire itself. To avoid the deterioration of the wire surface by the environment, such as the oxidation or the hydration, the N_2 gas was filled in the glass pipe in which the straightening process was being performed. A precision tension meter was also attached to control the tension of the wire during the heating and straightening process. In order to control the straightening process, several experimental investigations with varying the tension, the feeding velocity and the temperature (current) was carried out. As a result of experiments, we obtained the optimal processing conditions satisfying the straightness requirement of the micro wires.

키워드 직선화처리기, 직접가열법, 장력

Keyword straightener, direct heating method, tension

1. 서론

직선화 처리 공정을 통해 제작된 마이크로 극세선은 반도체, 의료, 전자 분야에 걸쳐 널리 사용되고 있다. 특히, 바이오(bio) 분야, 디스플레이(display) 분야, 반도체 분야, 나노(nano) 분야 및 기타 주요 센서 등의 응용부품으로 사용되고 있으며, 세계 시장에서 그 수요가 급격하게 증가하고 있는 제품이다[1].

이와 같이 확대일로에 있는 마이크로 니들의 시장을 선점하기 위해 마이크로 니들에 사용되는 극

세선의 직선처리기술이 선행되어야 한다. 극세선의 직선처리 기술은 국내에선 확보되지 못한 첨단 기술로 일본이 가장 앞서나가고 있다[2].

극세선의 직선화 정도가 제품의 품질을 좌우하며 업계에서는 길이 50,000 μ m당 40 μ m이하의 직진도를 요구하고 있다. 극세선의 직선처리기술은 고부가가치 산업으로 수입대체 및 수출증대 효과를 위해 선행되어야 할 기술개발 사업이다[3].

직선화 처리 공정에 있어서, 직선화 처리에 영향을 주는 인자로는 극세선 고유의 방향성, 극세선에 대한 온도와 장력에 의한 자체 영향, 직선화 처리 후 절단 과정에서의 버 제거, 기타 직선화 처리기 자체에 따른 내부 환경적 요소 등이 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다. 현재 진행되고 있는 직선화를 위한 방법으로 장력(tension)과 직선의 직·간접적인 전기 가열을 이용한 방법[4]

* 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과 석사과정

** 강원인력개발원, 공학박사

***, 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수, 공학박사

있으며, 직선 처리 능력이 우수한 롤에 의한 방법, 그리고, 임의의 하중에서 전류를 통전시켜 가열하고 인장을 하는 전기적 연신에 의한 방법 등이 있다.

본 연구에서는, 장력 조절과 와이어 자체를 직접 가열하는 방식으로 제작된 직선화 처리기를 이용하여, 직경 200 μ m인 304 스테인리스강(SUS 304) 와이어의 직선화를 위한 주요 요소들을 파악하고 이를 해석에 적용하였다. 직선화 처리 시 극세선 자체를 직접 가열하는 방식을 채택하였으며, 직선화 처리에 있어 주요 공정 변수인 장력과 직선의 이송 속도, 그리고 온도에 따른 극세선 내부 조직의 변화를 확인함으로써, 최적의 조건에 따른 극세선의 직선화를 수행하였다.

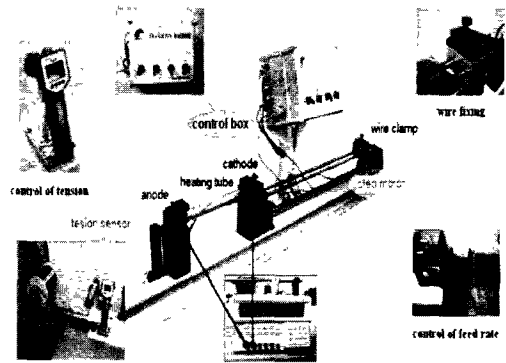


Fig. 1 Straightness controlling machine using tension and direct heating

2. 직선화 처리기의 시스템 구축

2.1 직선화 처리 메커니즘

본 연구는 직선화 처리 메커니즘에 있어서, 최고 진직도의 극세선을 유지하기 위해서 시작되었다. 와이어가 처음 생산될 때 생기는 잔류응력은 불균일한 소성 변형에 기인하고, 한쪽 표면부는 늘어나려고 하는 반면, 다른 쪽은 영향을 받지 않으면서 전체적으로 연속을 유지하려고 한다[4]. 이러한 까닭에 와이어의 굽힘이 발생한다. 이 잔류응력은 통전식 열처리를 통해 제거하며 소성변형 범위 내의 장력을 주어 최적의 진직도를 얻을 수 있었다. Fig. 1은 자체 개발한 직선화 처리기이다. 와이어가 처음으로 들어오는 부분에 장력 조절 장치를 설치하였고, 챔버를 통과할 때 전류를 공급하여 와이어 자체를 직접 가열하는 방식을 채택하였으며, 가열시 발생하는 표면산화를 방지하기 위하여 챔버(chamber) 내에 불활성 가스를 주입하였다. 극세선의 이송과 속도는 자체 개발한 직선 처리기 내부의 X축 스텝 모터(step motor)에 의해서 이루어지게 된다.

2.2 직선화 처리기 구동부

직선화 처리기의 전체적인 조절과 이송을 책임지는 구동부는 Fig. 2에 도시되어 있으며, 구동부에는 직선을 고정하여 이송하는 이송클램프와 이송 레일, 직선화 처리기의 가장 핵심이 되는 메인 컨트롤러(LNC-2)는 위치결정과 EEPROM를 탑재하고 있어 다양한 기계 원점복귀가 가능하다.

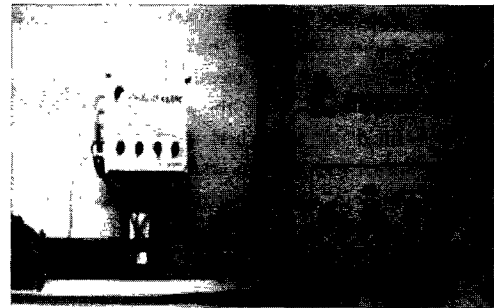


Fig. 2 Driving part & Main controller

또한 서보제어 신호로 고속 정밀 서보 드라이버를 탑재하여 정확하고 다양한 가·감속 제어가 가능하여 최적의 구동을 보장할 수 있도록 구성되어 있다.

본 직선화 처리기에서 와이어의 구동력은 Fig. 3과 같이, 스텝 모터에 의해 X축 방향, 즉 와이어 길이 방향으로 구동을 하며 이송거리는 800mm이다. 길이 방향 양 끝단에는 Fig. 4와 같이 센서가 부착되어 있어, 클램프가 접지되면 스텝 모터의 구동이 자동적으로 정지 제어 된다. 직선화 처리기에 있어서 중요한 요소 중 하나인 와이어 이송속도는 Fig. 5와 같이 외부 조절기(NC-Loader)에서 펄스 폭 및 주기, 방향을 조절하여 스텝 모터를 구동하도록 하였다. 또한 공급된 와이어를 고정하여 이송하는 클램핑 장치는 Fig. 6과 같이 설계·제작하여 돌림 나사에 의한 압축으로 고정시켰다



Fig. 3 Stepping motor



Fig. 4 Photo resistor

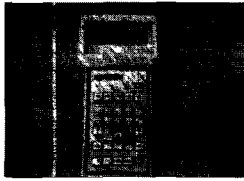


Fig. 5 NC-loader

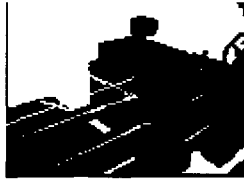


Fig. 6 Wire clasper



Fig. 7 Tension controlling and measuring sensor

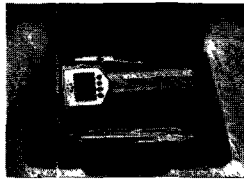


Fig. 8 Tension sensor



Fig. 9 Position for placing sensor



Fig. 10 Parts of wire heating

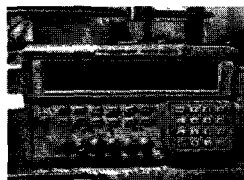


Fig. 11 Digital power supply

2.3 직선화 처리기의 제어부

직선화 처리 공정에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나는 최적의 장력(tension) 조절이다. 장력은 이론적인 최대 인장강도 이내에서 조절하며, 특히 전기적 가열로 인한 고온인장의 영향을 받으므로 와이어의 파단강도가 약해진다. 그러므로 낮은 장력에서부터 점차적으로 높여 가며 최적의 값을 찾아내야 한다. 본 시스템의 장력 조절은 Fig. 7과 같이 공구 없이도 쉽게 장력을 조절할 수 있도록 제작하였다.

직선화 처리기의 장력조절장치는 손으로 직접 손잡이를 돌려 조절함으로써, 스프링의 압축에 의해 와이어의 장력을 조절한다. 와이어가 지나가는 양쪽 면에는 양모(羊毛)가 부착되어 있어서 장력 조절장치에서의 와이어 손상을 최소화 하였고, 와이어에 일정한 장력이 유지되도록 제작하였다. 그리고 장력의 크기를 확인하기 위해 별도의 Fig. 8과 같은 장력 센서를 부착하였다. 휴대가 가능하고 크기가 작은 장력 센서는 Fig. 9와 같이, 장력 조절장치와 와이어 가이드 롤 사이에 설치되어 정량적인 장력 측정이 가능하게 하였다. 직선화 처리 공정 중 또 다른 중요한 요소인 온도 조절은, 공급된 와이어에 직접 전류를 통전시켜 가열하였다.

전류에 의한 직접 가열을 하기 위해서, Fig. 10과 같이 축의 양쪽에 전류를 통과시켜 와이어에 전달될 수 있게 하였으며, 전류가 기계 전체에 흐르지 않게 하기 위해서 각각의 축에만 독립적인 통전을 하였다.

또한, 두 축 사이에 유리관을 설치하여 외부의 공기와 차단하였고, Fig. 10에서와 같이 연결호스를 통하여 불활성가스인 질소를 주입하도록 시스템을 설계하였고, 가스의 양을 조절할 수 있도록 밸브를 부착, 와이어 가열시 발생하는 산화를 최대한 방지 할 수 있도록 하였다.

직선화 처리기에 직접 가열을 위한 전류의 공급은 Fig. 11과 같은 외부 디지털 전원 공급 장치(digital power supply)에서 공급되며, 이 장치를 이용하여 정량적인 전류 값을 조절할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 장력 변화에 의한 직선화

본 실험은 직선화 처리기를 이용하여, 스테인리스 와이어의 장력을 조절함에 따라, 와이어의 직경과 길이 변화를 알아본 실험이다.

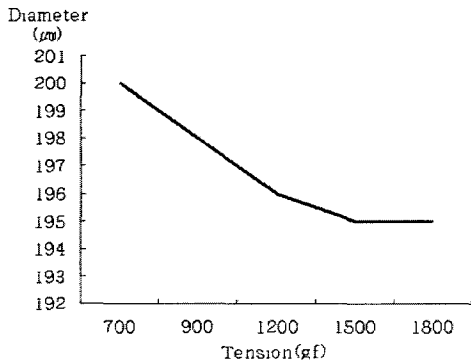


Fig. 12 Diameter changes in accordance with tension

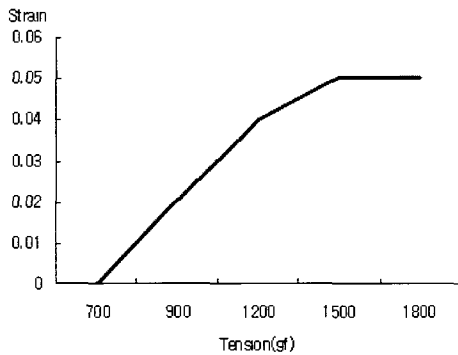


Fig. 13 Strain changes in accordance with tension

장력이 증가함에 따라 직경 200 μm 인 스테인리스 와이어의 직경은 최소 193 μm 까지 감소하였다. 하지만 직선화 처리 공정 중 가장 중요한 요소인 장력 조절만으로 최고의 진직도를 갖는 스테인리스 와이어 직선을 찾을 수 없었다.

Fig. 12와 Fig. 13은 직선화 처리기의 장력이 증가함에 따른 스테인리스 와이어의 직경 및 길이 변형을 변화를 나타낸 그림이다. 본 연구에서, 장력의 변화에 의한 직선화 실험과 외부 온도 변화 및 와이어의 이송 속도 변화를 주지 않고 실험을 수행한 결과이다.

3.2 이송 속도에 의한 직선화

온도에 따른 직선화 처리 공정을 수행하기 위하여, 장력을 단계별로 고정시킨 후, NC-Loader에서 속도를 변화시키면서 직선화 실험을 수행하였다. 그러나 와이어의 직경과 길이의 변화는 최저 속도에 비해서 변화량이 적었고, 최저 속도를 유지한

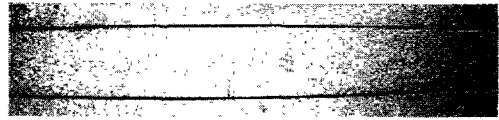


Fig. 14 Comparison of Straightness in accordance with velocity

Table 1 Results of diameter and strain in accordance with tension

Tension(gf)	Diameter(μm)	Strain(ϵ)
700	200	0
900	200	0
1200	198	0.020101
1500	197	0.030227
1800	196	0.040405

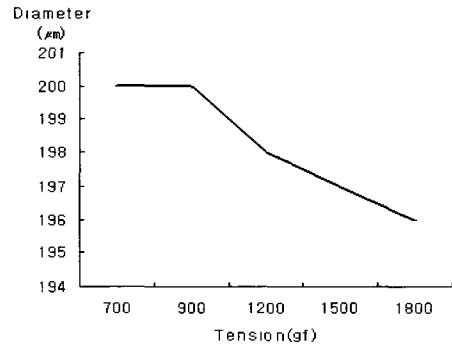


Fig. 15 Diameter changes in accordance with tension

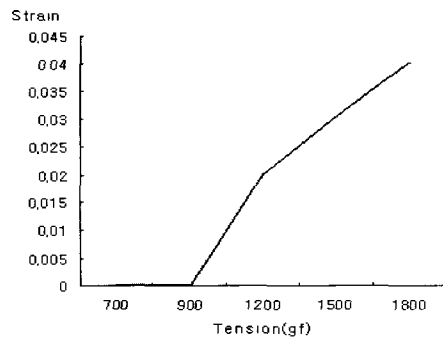


Fig. 16 Strain changes in accordance with tension

상태에서 장력 변화를 준 실험과 비교해 보았을 때 별다른 차이점을 발견할 수 없었으며, 오히려 속도가 증가했을 경우가 직선화가 덜 진행되었다

Fig 14는 속도에 따른 와이어의 직선화 비교이다. 상단의 와이어는 초기 속도에서 장력 변화를 준 샘플이고, 하단 와이어는 이송 속도를 5배 증가 시 샘플이다 두 가지 모두 최적의 조건하에서 최상의 긴직도를 갖는 샘플들이다

Fig 15와 Fig. 16은 Table 1의 데이터를 이용하여 그래프로 나타낸 것이다.

3.3 온도 변화에 의한 직선화

자체 제작한 직선화 처리기에서, 장력과 이송 속도의 변화에 따른 실험을 수행하면서 완전한 긴직도를 갖는 직선을 찾지 못했지만, 온도 변화를 주면서 거의 직선에 가까운 스테인리스 와이어의 직선화에 성공하였다.

온도 변화는 외부 디지털 공급 장치의 전류 증폭을 이용하여 0.5~2.0A의 전류를 흘렸으며, 그 결과 1.5A와 장력 700~900gf에서 직선화에 성공하였다 그리고 2.0A 이상의 높은 전류에서는 산화 현상이 빠르게 진행되었으며, 질소 가스를 투입했을 경우에 적당한 표면 거칠기를 가진 직선을 얻을 수 있었다

Fig 17은 전류 변화에 따른 스테인리스 와이어의 직경 변화를 나타낸 그림이다 특히, 원으로 표시된 부분은 직선화 공정에 성공한 샘플을 얻은 영역이다

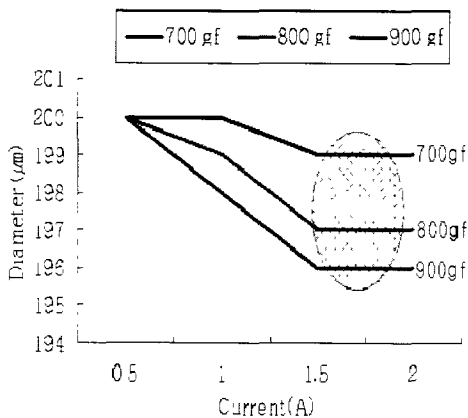
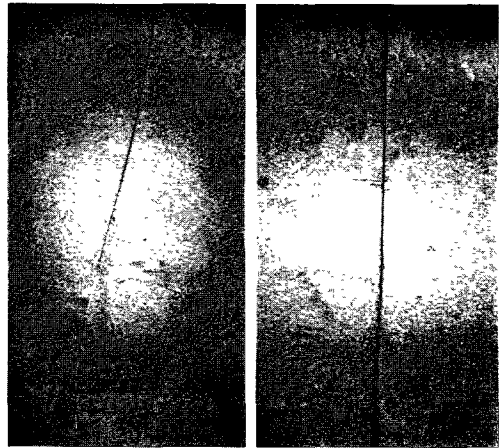


Fig 17 Temperature properties in accordance with current



(a) before (b) after
 Fig 18 Comparison of straightening treatment of wire

3.4 직선화 처리 결과

자체 개발한 직선화 처리기를 이용하여, 적절한 장력과 와이어를 직접 가열하여 최적의 긴직도를 가진 직선의 조건을 찾는 것을 본 실험의 주 목적으로 하였다. 장력, 온도 및 이송속도를 조절하면서 직선화 실험을 수행하였으며, 산화 방지를 위하여 불활성 가스를 투입하였다. Fig. 18은 와이어 롤에서 뽑아낸 직선과 직선화 처리기를 거쳐, 직선화를 이룬 직선의 비교 사진이다 사진에서와 같이, 원래의 직선과 직선화 처리기를 거친 모습은 현저하게 차이를 이룬다는 것을 알 수 있다

4. 결론

본 연구에서는 304 스테인리스 강 와이어의 최적에 긴직도를 갖는 직선화 모듈을 개발하기 위한 방법을 연구하기 위하여, 직접 가열 방식의 직선화 처리기를 개발하였다.

제작된 직선화 처리기를 이용하여, 장력 및 이송 속도, 그리고 전류 증폭에 의한 온도 변화를 이용하여, 여러 개의 직선화 샘플을 만들었고, 그 중 최적의 긴직도를 갖는 직선에 요구되는 주요 요소인 장력과 전류에 의한 온도를 발견하였다 적절한 장력과 온도 조절은 직선화 처리에 필수 불가결한 요소임을 결과를 비교함으로써 알 수 있었고, 직접 가열 방식의 직선화 처리기의 유용성을 검증하였다 향후, 완벽한 긴직도를 갖는 직선을 얻기 위해서는, 정량적이고 수치적인 요인을 보다 명확하게 밝히기 위해서 컴퓨터를 이용한 신호 처리 및 정량화에 중점을 두어 진행한다면, 마이크로 극세선 긴직도 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다

참 고 문 헌

- [1] 김현재, "LTFS TFT-LCD 개발 현황" 한국정보디스플레이학회지 Vol. 2, No. 1, pp. 30-35, 2001.
- [2] 윤성만, 전병희, "마이크로 가공 기술" 기계저널, Vol. 40, No. 11, pp. 34-39, 2000.
- [3] 오수익, "미세 홀 펀칭 기술 개발", 기계저널, Vol. 42, No. 6, pp. 36-41, 2002.
- [4] 한형기, 김성일, 유연철, "304 스테인리스강의 고온 유동응력곡선과 미세 조직의 예측", 한국소성가공학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 72-79, 2000.