

다단 신선공정을 이용한 초극세 로듐 와이어 제조

이상곤^{1, #} · 이성윤^{1, 2} · 이인규¹ · 황선광¹

Fabrication of Ultra-fine Rhodium Wire Using Multi-pass Wire Drawing Process

S. K. Lee, S. Y. Lee, I. K. Lee, S. K. Hwang

(Received August 30, 2019 / Revised September 18, 2019 / Accepted September 18, 2019)

Abstract

The aim of this study is to fabricate an ultra-fine pure rhodium wire using multi-pass wire drawing process. To manufacture 30 μ m ultra-fine rhodium wire from the initial 50 μ m wire, a multi-pass wire drawing process was designed based on the uniform reduction ratio theory. The elastic-plastic finite element analysis was then conducted to validate the efficacy of the designed process. The drawing load, drawing stress, and the distribution of the effective strain were evaluated using the finite element analysis. Finally, the wire drawing experiment was performed to validate the designed wire drawing process. From the results of the experiment, the diameter of the final drawn wire was found to be 29.85 μ m.

Key Words : Ultra-fine Rhodium Wire, Multi-pass Wire Drawing, Process Design, Finite Element Analysis

1. 서 론

최근 반도체 및 PCB의 성능향상을 위한 미세화(fine pitch) 요구가 상당히 높으며, 이에 대응하기 위한 검사장비들의 미세화 요구도 상당히 높아지고 있다. 이러한 요구에 효과적으로 대응하기 위해서는 반도체 및 검사장비에 사용되는 다양한 와이어의 초극세화가 필수적이다. 대표적으로 Au, Au 합금, Ag, Cu, Al 초극세 와이어가 반도체 및 검사장비에 사용되고 있다[1].

프로브 카드(probe card)는 대표적인 반도체 검사장비 모듈로 반도체 동작을 검사하기 위해 반도체 칩과 테스트 장비를 연결하는 장치이다[2]. Fig. 1에서 보듯이 프로브 카드에 장착되어 있는 프로브 핀(probe pin)이 웨이퍼를 접촉하면서 전기를 보내고,

그 때 돌아오는 신호에 따라 불량 반도체 칩을 선별하게 된다. 따라서, 반도체 미세화에 대응하기 위해 검사장비용 모듈인 프로브의 핀 미세화가 필수적이다. 이를 위해서는 프로브 핀으로 활용 가능한 초극세 와이어 제조기술 확보가 매우 중요하다.

로듐(rhodium: Rh)은 희소금속의 일종으로 미세한 전자부품 소재로 적용이 확대되고 있다. 특히, 전기적/기계적 특성이 우수하기 때문에 최근 프로브 카드 핀 소재로 그 수요가 증대되고 있다[3]. 로듐을 적용한 프로브 카드 핀 제조를 위해서는 직경 50 μ m 이하의 초극세 로듐 와이어 제조기술이 요구된다. 일반적으로 극세선은 신선(wire drawing) 공정을 통해 제조되며, 현재까지 다양한 신선관련 연구들이 수행되었다[4~8]. 그러나, 로듐 극세선 신선관련 연구결과는 최근까지 거의 발표되지 않았으며, 최근 본 논문의 저자 등이 50 μ m 로듐 극세선 제조를 위한 신선공정에 관한 연구를 수행하였다[3,9]. 따라서 보다 미세한 반도체 웨이퍼 검사를 위해서는 더욱 미세

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹

2. 부산대 대학원 융합학부 그린수송시스템설계전공

Corresponding Author : Extreme Fabrication Technology Group, Korea Institute of Industrial Technology, E-mail: sklee@kitech.re.kr, ORCID ID: 0000-0003-4901-8132

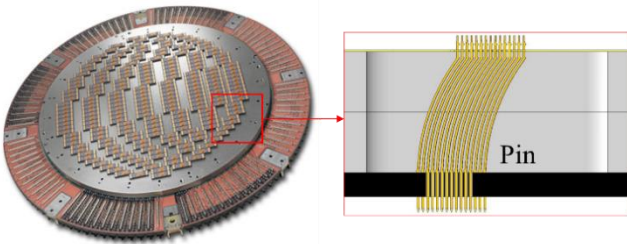


Fig. 1 Probe card and probe pin

Table 1 Wire diameter at each pass

Pass No.	Wire diameter (mm)
1	0.0472
2	0.0446
3	0.0422
4	0.0398
5	0.0376
6	0.0356
7	0.0336
8	0.0318
9	0.0300

한 초극세 로듐 와이어 제조기술이 확보되어야 한다.

초극세 로듐 와이어의 경우 초고부가가치 부품으로, 현재 대부분 일본에서 수입하여 프로브 카드에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 따라서, 국산화를 통한 수입대체가 매우 절실한 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 신선공정을 적용하여 프로브 카드 핀 제조에 적용되는 직경 30 μm 초극세 로듐 와이어를 국산화하는 것이다. 이를 위해 균일단면감소율을 적용하여 다단 신선패스를 설계하였으며, 탄소성 유한요소해석을 통해 설계된 패스의 타당성을 평가하였다. 이후, 신선실험을 통해 직경 30 μm 초극세 로듐 와이어를 제조하였다.

2. 균일단면 감소율 적용 패스 설계

본 연구에서는 30 μm 초극세 로듐 와이어 제조를 위한 다단 신선공정 패스 설계를 위해 각 패스의 단면감소율을 동일하게 적용하는 균일단면감소율

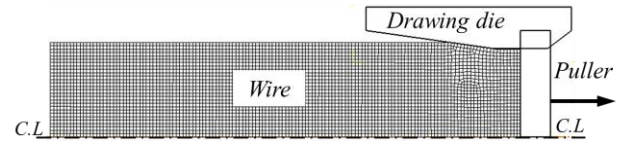


Fig. 2 Initial FE analysis model

Table 2 Conditions for FE analysis

Items	Value
Flow stress curve [MPa]	$\bar{\sigma} = 3562 \cdot \bar{\epsilon}^{0.093}$
Young's modulus [GPa]	359.0
Poisson's ratio	0.26
Yield strength [MPa]	1880.0
Tensile strength [MPa]	2480.0
Friction Coeff. (μ)	0.059
Semi-die angle	8.0°

이론을 적용하였다[3,10]. 따라서, 단면감소율은 다음의 식(1)로 계산된다.

$$r_{avg}[\%] = \left[1 - \left(1 - \frac{r_t}{100} \right)^{1/n} \right] \times 100 \quad (1)$$

여기서, r_{avg} 는 각 패스의 평균 단면감소율, r_t 는 총 단면감소율(total reduction ratio), 그리고 n 은 총 패스 수이다.

초기 적용 와이어 직경은 50 μm 로 r_t 는 64.0%이다. 본 연구에서는 균일단면감소율 적용을 위한 패스 수는 9로 설정하였으며, 이에 따른 각 패스의 균일 단면감소율은 10.73%이다. Table 1에 균일단면감소율이 적용된 다단 신선 패스 스케줄을 나타내었다.

3. 신선공정 탄소성 유한요소해석

본 연구에서는 설계된 다단 신선공정의 타당성 평가를 위해 탄소성 유한요소해석을 수행하였다. 해석은 상용해석 소프트웨어 DEFORM 2D로 수행되었다. Fig. 2에 해석을 위한 초기 유한요소해석 모델을 나타내었다.

적용된 초기 50 μm 로듐 와이어의 유효변형률-유효응력 곡선은 미세인장시험기(Instron 5566A)를 이용한 인장시험을 통해 평가하였다. Table 2에 유효응력 선

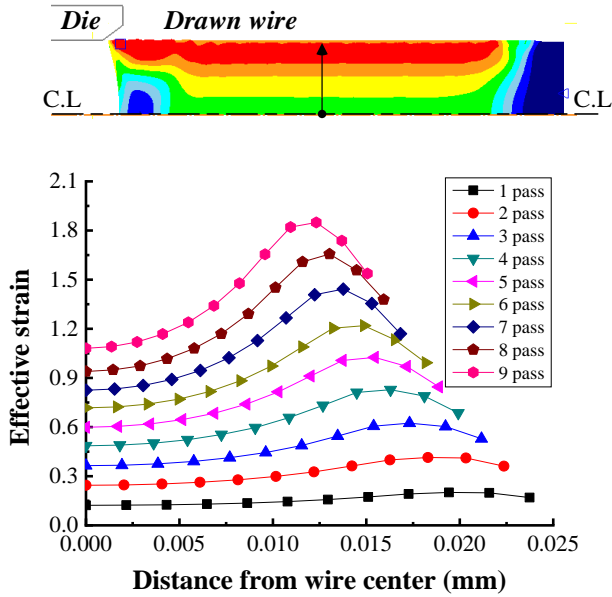


Fig. 3 Distribution of effective strain

도를 포함한 소재 물성치 및 해석조건을 나타내었다.

Fig. 3은 유한요소해석결과 각 패스 별 신선 후 와이어의 유효 변형률 분포를 나타낸 것이다. 유효 변형률은 와이어가 다이를 완전히 통과한 후 정상상태 영역에서 평가하였다. 결과에서 알 수 있듯이 중심부의 경우 패스가 진행됨에 따라 변형률이 거의 균일하게 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 표면부의 경우 다이와의 직접적인 접촉으로 인하여 상대적으로 급격하게 증가한다. 이로 인해, 패스가 진행될수록 중심부와 표면부의 변형률 차가 증가함을 알 수 있다.

Fig. 4는 각 패스별 신선하중을 나타낸 것이다. 하중은 약 0.61 ~ 1.17 N 사이의 값을 나타내며, 패스가 진행될수록 점진적으로 감소함을 알 수 있다. 패스가 진행됨에 따라 가공경화에 의한 하중 증가보다 와이어 직경 감소로 인한 하중 감소량이 많기 때문에 점진적으로 감소하게 된다.

Fig. 5에는 식(2)로 계산된 각 패스별 신선응력을 나타내었다.

$$\sigma_i = \frac{L_i}{A_i} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

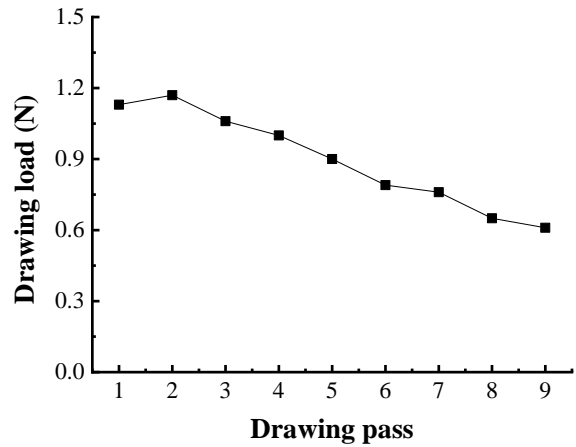


Fig. 4 Drawing load at each pass

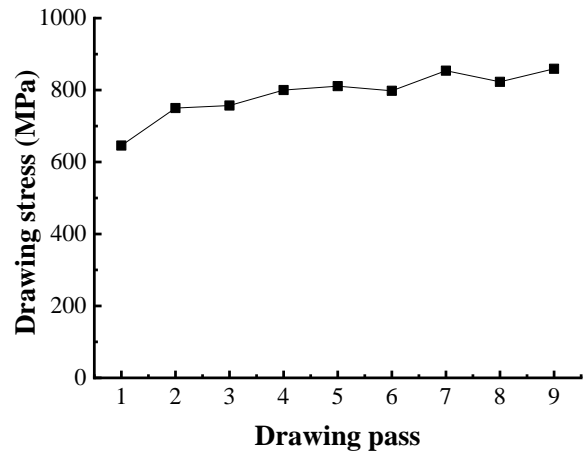


Fig. 5 Drawing stress at each pass

여기서, L_i 는 신선하중, A_i 는 다이 출구부 단면적이다. 신선하중은 패스가 진행됨에 따라 감소하지만 신선응력의 경우 패스 진행에 따른 단면적 감소에 따라 순차적으로 증가함을 알 수 있다. 결과에서 알 수 있듯이 각 패스의 신선 응력은 645 ~ 859 MPa 사이로 초기 와이어의 항복응력보다 상당히 낮음을 알 수 있다. 따라서, 각 패스를 통과한 와이어에 소성 변형에 의한 치수저하 혹은 단선은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

따라서, 이상의 해석결과로부터 설정된 다단 시선 패스의 타당성을 수치적으로 확인할 수 있다.

4. 다단 신선 실험

30 μ m 초극세 로듐 와이어 제조를 위해 설계된 다

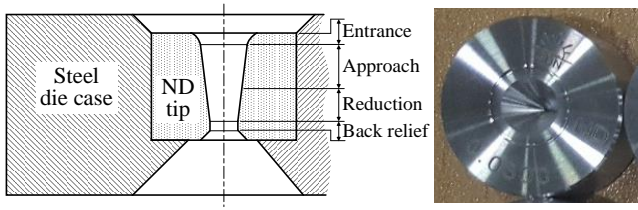


Fig. 6 Drawing die

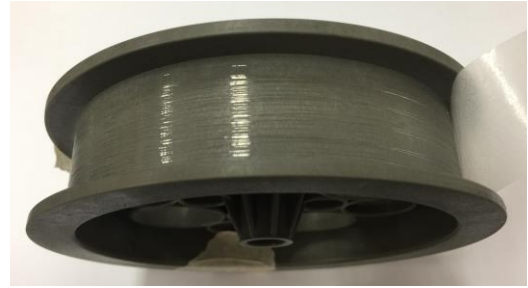


Fig. 8 Final 30 μm drawn wire

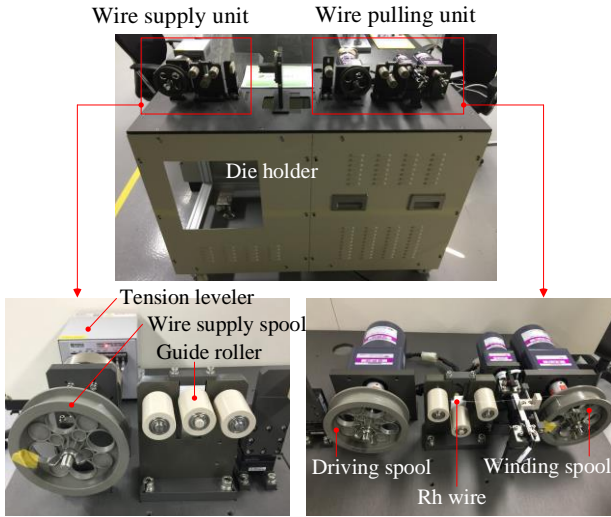


Fig. 7 Precision drawing machine

Table 3 Measured diameter at each pass

Pass No.	Wire diameter (μm)
1	47.271
2	44.728
3	42.290
4	39.748
5	37.798
6	35.672
7	33.722
8	31.641
9	29.850

단 신선공정의 타당성 검증을 위해 신선 실험을 수행하였다.

Fig. 6에 초극세 로듐 와이어 제조를 위한 신선 다이 구조 및 제작된 신선 다이를 나타내었다. Fig. 6에서 보듯이 신선 다이는 스틸 케이스(case)와 와이어와 접촉하여 직경을 줄이는 팁(tip)으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 다이 팁 소재로 천연다이아몬드가 적용되었다.

신선 실험을 위한 정밀 신선기를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보듯이 입측에서 공급된 와이어는 드라이빙 스펴(driving spool)에 의한 인출력으로 다이 홀더(die holder)에 장착되어 있는 신선 다이를 통과한 후, 최종 와인딩 스펴(winding spool)에 권취된다. 사용된 정밀 신선기는 단 패스 신선기로 순차적으로 신선 다이를 교체하면서 9패스 신선 실험을 완료하였다.

실험 결과 총 9패스 신선 시 와이어 단선 발생 없이 최종 30μm 로듐 와이어를 성공적으로 신선하였다. Fig. 8은 최종직경 30μm 로듐 와이어 사진이다.

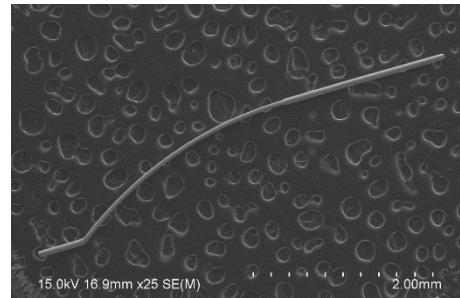


Fig. 9 Probe card pin

신선된 와이어에 대하여 FE-SEM (SU8020, Hitach, Japan)을 이용하여 각 패스 별 와이어 직경과 표면을 관찰하였다.

Table 3에 측정된 와이어 직경을 나타내었다. 직경 측정 결과, 각 패스별 신선 와이어 직경은 다이 출구직경과 유사함을 알 수 있으며, 최종 신선된 로듐 와이어 직경은 약 29.85μm였다. Fig. 9에서 보듯이 프로브 카드 핀은 신선된 로듐 와이어를 프레스로 성형하여 최종 형상을 완성한다. 이 때 프레스 금형

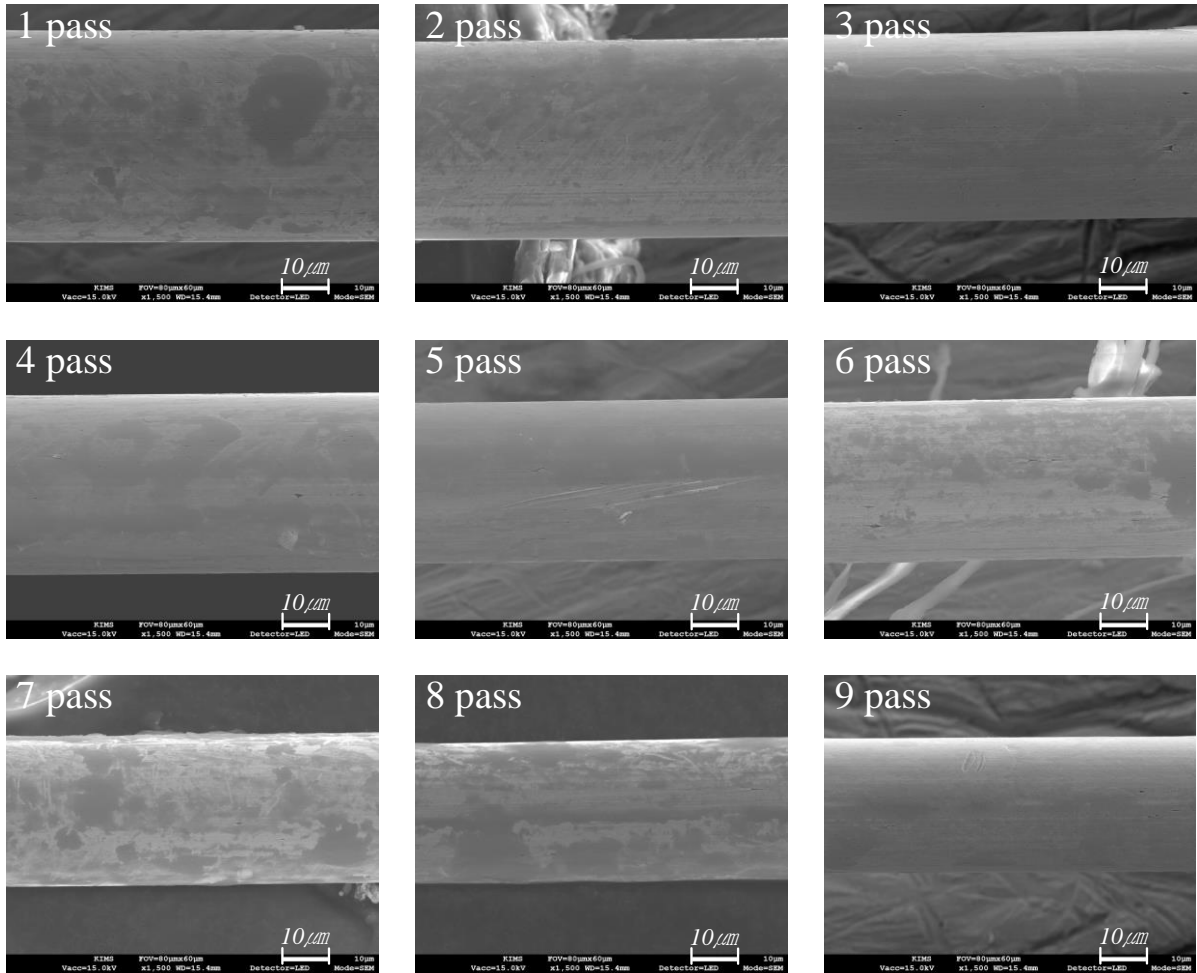


Fig. 10 SEM image of drawn wire (×1500)

캐비티(cavity)에 소재가 원활하게 공급되기 위해서는 최종 와이어의 직경이 목표 직경인 30 μ m를 초과해선 안 된다. 따라서, 신선 실험을 통해 신선된 최종 와이어 직경은 양호함을 알 수 있다.

Fig. 10에 각 패스별 신선 와이어 SEM 이미지를 나타내었다. 신선과정 특성상 표면부에 신선방향으로 전형적인 미세한 변형 패턴을 관찰할 수 있다. 또한, 표면부에 미세한 크랙이 관찰되고 있으나, 신선 시 단선을 야기시킬 정도로 크지 않음을 알 수 있다. 최종 신선된 와이어의 표면 상태는 매우 우수하였다.

5. 결론

반도체 및 PCB의 미세화에 대응하기 위한 검사장비의 미세화가 매우 중요하다. 본 연구에서는 반도체의 전기적 특성을 검사하기 위한 검사장비와 반도체를 연결시키는 장치인 프로브 카드의 미세화를 위해 프로브 카드 핀으로 사용되는 초극세 로듐 와이어 제조를 위한 다단 신선공정을 설계하였으며, 이를 통해 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 초기 50 μ m 로듐 와이어로부터 30 μ m 초극세 로듐 와이어 제조를 위해 균일단면감소율을 적용하여 다단 신선패스를 설계하였다. 9패스 신선공정을 적용하였으며, 각 패스의 단면감소율은 10.73%였다.

(2) 설계된 패스에 대한 탄소성 유한요소해석결과 각 패스의 신선 하중은 약 0.61 ~ 1.17 N 사이 값을 나타내었다. 또한, 각 패스의 신선 응력은 645 ~ 859

MPa로 초기 로딩 와이어의 항복응력보다 낮은 값을 나타내었다.

(3) 설계된 공정의 타당성 검증을 위한 신선 실험 결과 신선 중 와이어 단선은 발생하지 않았다. SEM을 이용해 평가한 각 패스 와이어 직경은 다이 출구부 직경과 거의 일치하였으며, 최종 와이어 직경은 29.85 μ m였다. 또한, 와이어 표면에 미세한 크랙이 관찰되었으나, 신선 시 와이어 단선을 야기시킬 정도로 성장하지 않음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원과 산업기술혁신사업(벤처형전문소재기술개발사업(10067248))의 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] G. Herman, 2010, Wire Bonding in Microelectronics, McGraw-Hill, New York. pp. 50~75.
- [2] Y. Zhang, Y. Zhang, R. B. Marcus, 1999, Thermally Actuated Microprobes for a New Wafer Probe Card, J. Microelectromech. Syst. Vol. 8, No. 1, pp. 43~49.
- [3] I. K. Lee, S. Y. Lee, D. H. Kim, J. W. Lee, S. K. Lee, 2018, Wire Drawing Process Design for Fine Rhodium Wire, Trans. Mater. Process. Vol. 27, No. 4, pp. 244~249.
- [4] P. Kustra, A. Milenin, D. Byrska-Wójcik, O. Grydin, M. Schaper, 2017, The Process of Ultra-fine Wire Drawing for Magnesium Alloy with the Guaranteed Restoration of Ductility between Passes, J. Mater. Process. Technol. Vol. 247, pp. 234~242.
- [5] A. Skolyszewski, M. Paćko, 1998, Backtension Value in the Fine Wire Drawing Process, J. Mater. Process. Technol., Vol. 80-81, pp. 380~387.
- [6] S. K. Lee, S. B. Lee, B. M. Kim, 2010, Process Design of Multi-stage Wet Wire Drawing for Improving the Drawing Speed for 0.72 wt% C Steel Wire, J. Mater. Process. Technol. Vol. 210, No. 5, pp. 776~783.
- [7] S. B. Lee, I. K. Lee, M. S. Jeong, B. M. Kim, S. K. Lee, 2017, Prediction of Surface Residual Stress of Multi-pass Drawn Steel Wire Using Numerical Analysis, Trans. Mater. Process. Vol. 26, No. 3, pp. 162~167.
- [8] H. Cho, H. H. Cho, S. G. Lee, B. M. Kim, Y. J. Kim, 2002, Effect of Reduction Ratio, Inclusion Size and Distance between Inclusions on Wire Breaks in Cu Fine Wire Drawing, J. Mater. Process. Technol. Vol. 130-131, pp. 416~420.
- [9] S. K. Lee, I. K. Lee, S. Y. Lee, S. K. Hwang, 2019, Fabrication of 50.0 μ m Ultra-fine Pure Rhodium Wire, using a Multi-pass Wire Drawing Process, for Probe Card”, Materials, Vol. 12, No. 13, pp.1~12
- [10] Jpn. Soc. Technol. Plast., 1990, Drawing process, Corona. p. 4