

## 초경 다단 다이를 적용한 냉간 압조용 인발 선재 제조

박동환<sup>1,\*</sup>, 현경환<sup>2</sup>, 이명준<sup>3</sup>

### Fabrication of Drawing Wire for Cold Rolling Mill using Tungsten Carbide Multi-Stage Dies

D. H. Park, K. H. Hyun, M. J. Lee

(Received January 17, 2020 / Revised March 10, 2020 / Accepted March 11, 2020)

#### Abstract

Wire drawing is a metalworking process used to reduce the cross-section of a wire by pulling the wire through multi-stage drawing dies. The aim of this study is to fabricate a drawing wire using 2 stage drawing process. The finite element analysis of wire drawing was conducted to validate the efficiency of the designed process and the experiment was performed to validate the designed wire drawing process using 2 stage tungsten carbide die. Dry lubricant with powder was applied for producing a wire of desired diameter. Finally, a drawing wire using 2 stage die for cold rolling mill was developed.

**Key Words:** Drawing Wire, Cold Rolling, Tungsten Carbide, Multi-Stage Dies, Process Design

#### 1. 서 론

일반적으로 인발(drawing)은 길이가 긴 봉재나 선재를 인발 다이에 통과시킨 후 잡아 당겨서 소재의 단면적을 감소시키는 가공 방법이다. 압출은 소재에 압축력이 작용하나, 인발은 인발 다이를 통과시킨 소재에 인장력이 작용한다[1-5]. 다단 인발은 여러 개의 다이를 통과시켜 직경이 작은 선재를 가공하는 공정이다. 다단 다이 재료는 공구강 또는 초경합금을 사용하고, 다이 수명과 제품 표면 정도 향상을 위해 윤활제를 사용한다. 소재와 다이 간의 마찰이 크고 단면감소율이 클 때 인발력이 크므로 이를 감소하기 위하여 다이의 재질, 형상 및 치수가 중요하다. 윤활은 다이와 선재 사이의 마찰을 줄여 다이의 수명을 길게 하고 제품의 표면 상태를 좋게 하며 인발력을 감소시키며 냉각효과도 있다. 판재 드로잉 성형과 달리 인발 가공은 길이가 긴 단면 형상을

가지는 봉재 및 선재를 생산하는 가공이다. 또 압출 공정에 비하여 단면적이 작고, 표면 정도가 우수한 성질을 갖고 있다[6-10]. 인발 가공에서 인발 하중에 영향을 주는 주요 공정 변수는 다이 각, 단면감소율, 인발속도, 윤활, 온도 등이다.

최근 자동차 부품에 대한 원가절감을 위해 대량생산이 가능하도록 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 요구에 효과적으로 대응하기 위해서는 선재를 이용한 냉간단조 기술을 적용한 대량 부품 생산이다[11]. 인발 선재 제조 시에 형상이 복잡하거나 초기 소재에 비해 단면감소율이 큰 최종 제품을 생산할 경우 1개의 다이를 통과할 때의 단면감소율을 낮추는 반면 다이의 개수는 증가시켜 다단 신선 공정으로 생산성을 높일 수 있다. 이러한 다단 형상 성형 제품 개발을 위한 공정 및 다이 설계는 최종 제품의 사양을 결정하는 중요한 역할을 한다.

본 연구는 냉간 압조용 인발 다이를 다단으로 적용하여 선재를 인발하여 원하는 직경의 선재로 생산하고자 한다. 냉간 압조용 인발 신선기는 선재 피

1. 경북하이브리드부품연구원, 책임연구원  
2. 인하대학교 금속재료공정공학과, 대학원생  
3. (주)우신스틸, 부장

# Corresponding Author: Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, E-mail: pdh@ghi.re.kr, ORCID : 0000-0003-4745-9604

딩을 위해 3단계의 예비교정기로 구성되어 있으며, 신선 유회체가 선재에 도포되어 인발 다이를 통과 하면서 원하는 직경의 선재가 생산된다. 기존 냉간 압조용 인발 다이는 1개의 초경 다이가 사용되어 선재를 생산하는 과정에서 인발 다이와 선재 간의 접촉 압력과 미끄럼 운동에 의해 마찰과 마모가 발생되어 인발 후 선재는 선경 편차와 굴곡 등의 불량 발생되고 있다. 이를 해결하기 위해 2단 초경 다이를 적용하였다.

## 2. 인발 다이 설계

냉간 압조용 인발 신선기는 선재를 원하는 직경의 선재로 인발하는 장비로서 선재 피딩을 위해 3단계의 예비교정기가 구성되어 있으며, 압조용 파우더로 구성된 신선 유회체가 선재에 도포되어 인발 다이를 통과시키면서 원하는 직경의 선재를 생산한다. 기존 냉간 압조용 인발 신선기는 1개의 인발 다이가 사용되어 선재를 생산하는 과정에서 인발 다이와 선재 간의 접촉 압력과 미끄럼 운동에 의해 마찰과 마모가 발생되어 이를 개선하기 위하여 초경합금 소재를 적용하여 2단 인발 다이를 설계하였다. 즉, 선재 인발가공에서 선경 편차와 굴곡 등의 불량 개선과 고수명의 다단 다이를 구현하기 위하여 초경합금 소재를 적용하여 2단 초경 다이를 설계하였다. 인발 공정에 영향을 주는 주요 공정변수는 다이 각, 단면감소율, 인발속도, 온도 등으로 다이의 마찰과 마모에 의한 금형 수명, 선재 직경 편차 및 굴곡 불량 등에 대한 개선이 중요하다.

Ø7.5의 냉간 압조용 선재 생산을 위한 2단 초경 다이 설계를 설계하고, 2단 초경 다이 형상과 인발 해석을 위해 CATIA로 3D 모델링을 수행하였다. 2단 초경 다이는 2개의 초경 다이와 초경 다이를 고정하는 다이 하우징으로 구성된다. 초경 2단 다이에 삽입되는 냉간 압조용 선재는 직경 7.9mm가 삽입되며, 1차 다이의 내경 7.8mm와 2차 다이의 내경 7.5mm를 지나 최종 7.5mm의 냉간 압조용 선재를 생산하고자 2단 초경 다이를 설계하였다. Fig. 1은 2단 초경 다이의 2D 설계를 보여준다. 냉간 압조용 선재 가공을 위한 1차 초경 다이의 내경은 7.8mm이며, 선재가 인발될 수 있도록 다이 각도를 18°로 설계하였다. 2차 초경 다이의 내경은 7.5mm이며, 1차 다이와 조립될 수 있도록 다이 내경에 R11.5를 주고

다이 각도를 14°로 설계하였다. Fig. 2는 2단 초경 다이와 다이 하우징을 보여준다.

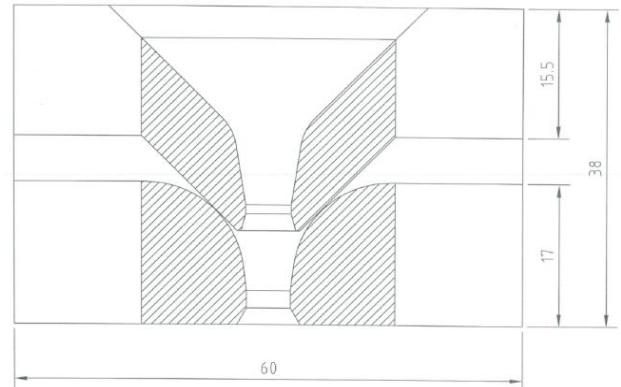


Fig. 1 Dimensions of 2 stage drawing die

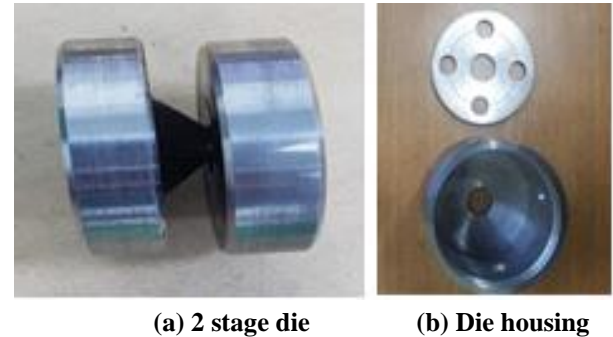


Fig. 2 2 stage drawing die and die housing

## 3. 인발해석

냉간 압조용 인발 선재 생산을 위해 Ø7.9 원소재를 압조용 파우더인 건식 유회체로 유회하여 1차 다이와 2차 다이를 통과시켜 인발 선재를 완성할 수 있도록 설계하였다. Simufact Forming S/W를 활용하여 인발해석을 수행하였다. 냉간 압조용 선재의 응력과 변형률, 영률 등의 물성은 인장실험 데이터를 사용하였다. 또한, 프아송비(0.28)와 밀도(7.89), 열전도율(80W/m·K), 비열 용량(0.107cal/g·°C)은 일반 철강 소재에 적용되는 데이터를 적용하였다. Table 1은 인발 해석 조건을 보여준다. 선재 인발 속도는 60m/min, 마찰계수는 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 등의 4가지로 설정하여 인발해석을 수행하였다. Fig. 3은 신선공정 인발 금형의 부품 모델링을 보여주고, Fig. 4는 인발 공정에서 마찰계수에 따른 선재 부품의 유효 변형률을 보여주고, Fig. 5는 인발 공정에서 마찰계수에 따른 선재

부품의 온도분포를 보여준다. 2단 초경 다이에서 1차 다이스와 2차 다이를 비교하면, 1차 다이스에서 유효 변형률과 온도 분포가 더 낮음을 알 수 있고, 2차 다이스에서 선재를 최종 정형하므로 유효 변형률과 온도 분포가 더 높음을 알 수 있다. 그러므로 2차 다이스에서 최종 선재가 정형되어 생산되므로 유효 변형률과 온도 분포가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 2단 다이 인발해석 결과에서 마찰계수에 따른 유효 변형률을 보여준다. Ø7.90 선재의 2단 인발 공정 1차 성형(Ø7.80) 및 2차 성형(Ø7.50)에 대한 마찰 변화에 따른 유효 변형률은 1차 성형에서 Min. 0.29~Max.0.32 정도 발생되고, 2차 성형에서 Min.0.4~Max.0.43 발생되는 것을 확인할 수 있다. Ø7.90 선재의 2단 인발해석 결과를 살펴보면, 1차 성형 및 2차 성형에서 마찰 변화에 따른 유효 변형률의 변화는 매우 작게 나타난다.

Fig. 7은 2단 다이 인발해석 결과에서 마찰계수에 따른 온도 분포를 보여준다. Ø7.90 선재의 2단 인발 공정 1차 성형 및 2차 성형에 대한 마찰 변화에 따른 온도 분포는 1차 성형에서 Min.48.59℃~Max. 84.23℃ 정도 발생되고, 2차 성형에서 Min.71.37℃~Max.116.13℃ 발생되는 것을 확인할 수 있다. 따라서, Ø7.90 선재의 2단 인발해석 결과에서 1차 성형 및 2차 성형에서 마찰 변화에 따른 온도 변화는 크게 상승하는 것으로 나타난다.

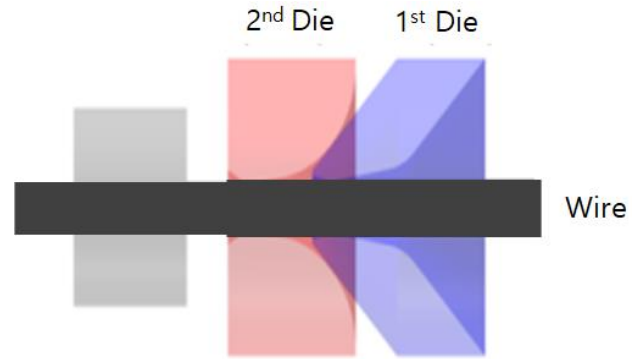
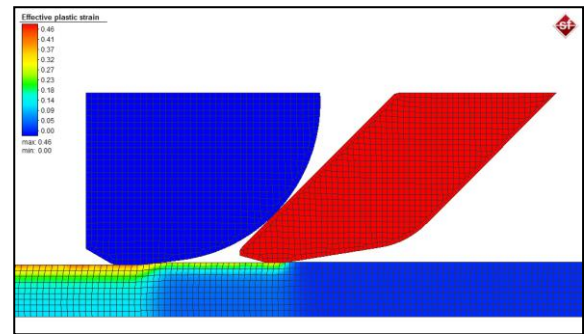
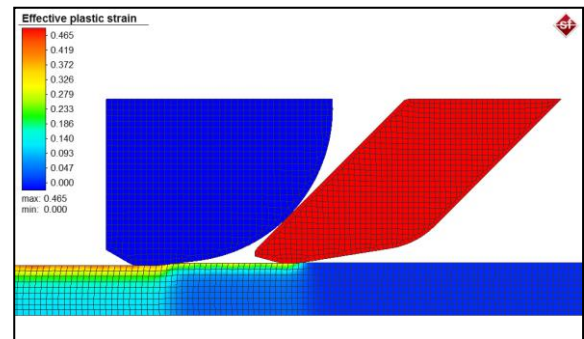


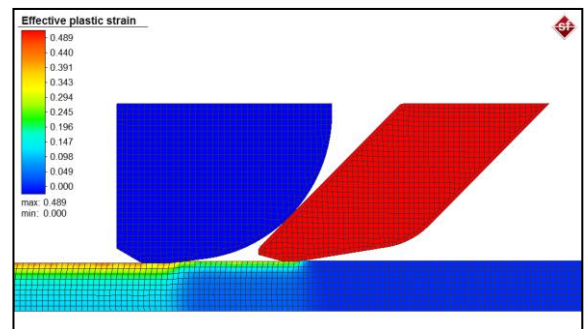
Fig. 3 Simulation model of 2 stage drawing die



(a) Friction coefficient 0.05



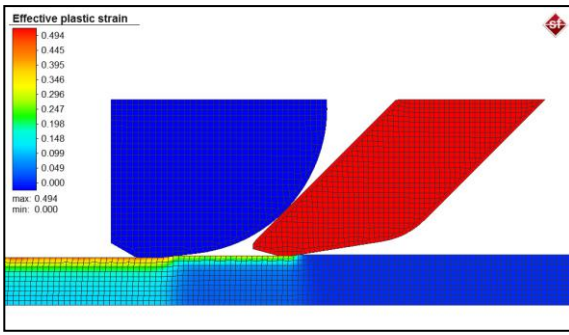
(b) Friction coefficient 0.1



(c) Friction coefficient 0.15

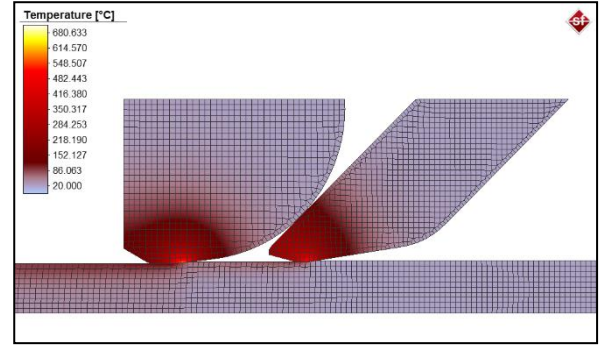
Table 1 Simulation conditions

Plastic material	45F-SA2P
Wire thickness	Ø7.9
Rigid die	Tungsten Carbide(WC)
Friction coefficient	0.05, 0.1, 0.15, 0.2
Drawing velocity	60m/min
Initial temp. of die	20℃
Initial temp. of material	20℃



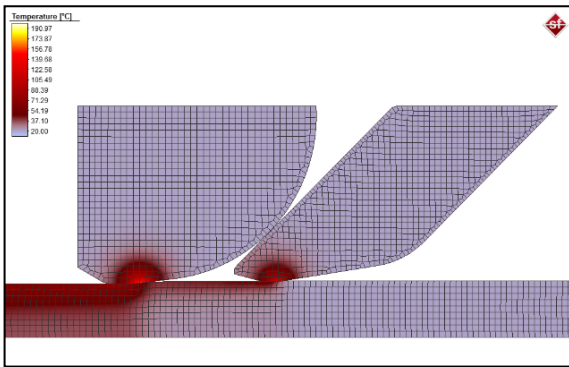
(d) Friction coefficient 0.2

Fig. 4 Effective plastic strain according to friction coefficient

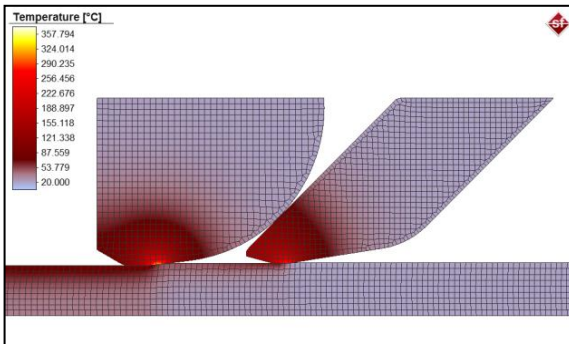


(d) Friction coefficient 0.2

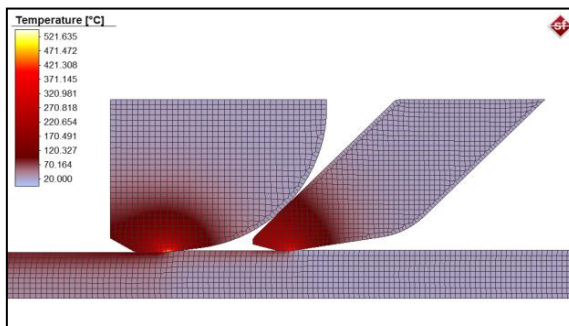
Fig. 5 Temperature distribution according to friction coefficient



(a) Friction coefficient 0.05



(b) Friction coefficient 0.1



(c) Friction coefficient 0.15

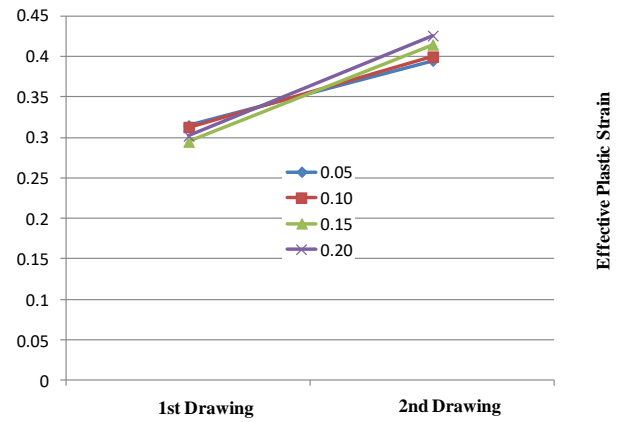


Fig. 6 Effective plastic strain according to friction coefficient

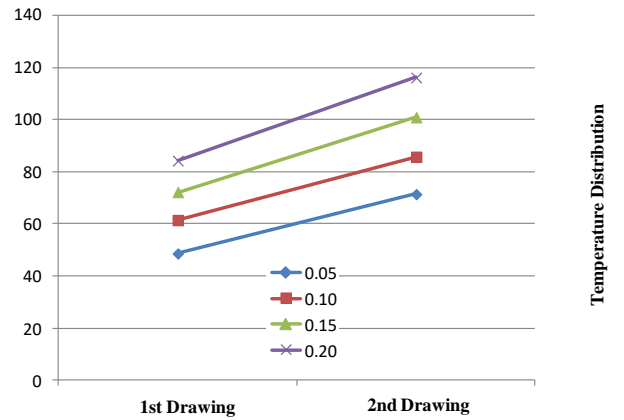


Fig. 7 Temperature distribution according to friction coefficient

#### 4. 인발 실험

2단 초경 다이를 제작하여 냉간 압조용 선재 생산을 위해 인발 실험을 수행하였다. 인발 신선기의 생산속도는 60m/min으로 설정하고, 파우더로 구성된 건식 윤활제를 도포하여 상온에서 실시하였다. 선재의 시제품 생산에 사용된 재료는 45F-SA2P로 1차 다이를 이용해 1차 성형한 후 2차 다리로 2차 성형을 진행하였다. 인발 실험으로 선재를 생산하여 선재의 정밀도를 평가하였다. Table 2는 선재 직경 측정 결과를 보여준다. 선경 편차 정밀도가 평균 0.007mm로 나타나고, 동심도는 평균 1.3 $\mu$ m로 나타나 정밀도가 우수함을 알 수 있다.

Fig. 8은 초경 2단 다이를 신선기에 설치한 후 신선 윤활제가 선재에 도포되어 인발되는 과정을 보여준다. 신선기에서 선재가 생산되기 위해서는 신선기의 롤이 회전하며, 신선기의 롤 상부에 멀티미터 센서를 장착하여 롤의 회전수를 측정하고, 이를 이용해 선재 길이를 측정한다. 즉, 선재 직경 측정시스템과 2단 초경 다이가 적용된 신선기를 활용하여  $\varnothing 7.9$  선재를 투입시켜 최종  $\varnothing 7.5$ 의 선재를 생산하였다. 1차 초경 다이는  $\varnothing 7.8$ 를 적용하였으며, 2차 초경 다이는  $\varnothing 7.5$ 를 적용하였다.

Fig. 9는 신선기에 장착된 2단 초경 다이를 보여준다. 2단 초경 다이의 하우징 앞에 선재 외경 측정 장치를 설치하고, 선재 생산 시에 선재 외경을 X, Y 좌표로 측정하여 선경 편차를 실시간으로 확인할 수 있었다. Fig. 10은 선재 외경 측정 장치를 보여주고, Fig. 11은 선재 외경 측정을 위한 모니터링 시스템을 보여준다. 선재 외경 측정 시스템에서 선재 외경을 4면으로 측정하여 선재 직경과 길이를 실시간으로 현장 모니터링이 가능하였다.

**Table 2 Measurement results of wire diameter**

Measurement accuracy	Reference value	Measures
Deviation accuracy	$\varnothing 7.5 \pm 0.015 \text{mm}$	0.007mm
Concentricity	$\varnothing 7.5 \pm 2.5 \mu\text{m}$	1.3 $\mu\text{m}$



**Fig. 8 Wire drawing apparatus**



**Fig. 9 2 stage die in the wire drawing apparatus**



**Fig. 10 Wire diameter measurement equipment**

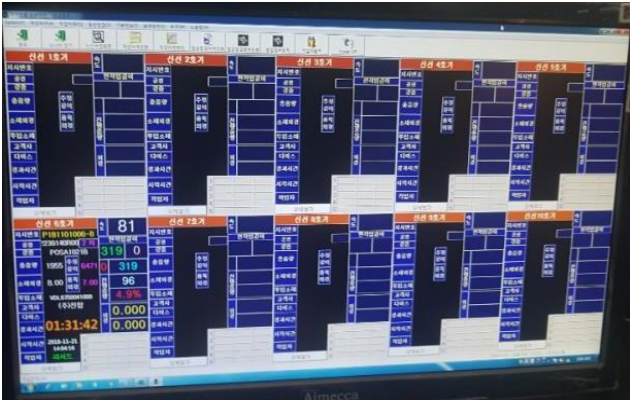


Fig. 11 Monitoring system for measuring wire diameter

## 5. 결 론

본 연구는 냉간 압조용 인발 가공에서 기존 단일 다이보다 다단 다이를 적용하여 선재를 인발 함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 2단 선재 인발을 위하여 초경 2단 다이와 다이하우징, 선재 직경 측정 시스템을 설계 제작하고, 선재 인발해석을 수행하여 냉간 압조용 인발 선재를 생산할 수 있었다.

(2) 2단 초경 다이는 선재 직경  $\varnothing 7.5$ 를 적용하고, 인발해석은 마찰계수에 따라 변화되는 유효응력과 유효변형률, 온도 등을 확인하여 최적의 초경 2단 다이를 1차 다이 각도  $18^\circ$ , 2차 다이 각도  $14^\circ$ 로 설계되었으며, 이 때 평균 속도  $60\text{m/min}$ 로 생산하였다.

(3) 선재 직경 측정 시스템은 선재의 직경과 길이를 실시간으로 측정한 후 데이터로 받아들여 네트워크 시스템으로 현장 모니터링을 실시하여 실용성을 검증하였다.

(4) 2단 초경 다이를 적용하여 선경 편차 정밀도와 선경 동심도가 우수함을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- [1] S. K. Lee, S. Y. Lee, I. K. Lee, S. K. Hwang, 2019, Fabrication of Ultra-fine Rhodium Wire Using Multi-Pass Wire Drawing Process, Trans. Mater. Process, Vol. 28, No. 5, pp. 275~280.
- [2] S. I. Ji, K. H. Lee, L. S. Hong, J. Y. Jung, J. S. Kim, B. M. Kim, 2015, Process Design of Multi-Pass Drawing of Wire with Asymmetric Trapezoid Profiles, Trans. Mater. Process, Vol. 24, No. 3, pp. 187~193.
- [3] D. W. Kim, S. K. Lee, B. M. Kim, J. Y. Jung, D. Y. Ban, S. B. Lee, 2010, Prediction Model of Surface Residual Stress for Multi-Pass Drawn High Carbon Steel Wire, Trans. Mater. Process, Vol. 19, No. 4, pp. 224~229.
- [4] 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.
- [5] S. H. Kim, G. C. Jang, C. W. Lee, 2014, Development and Evaluation of Dry Lubricant Recycle Technologies for Wire Drawing Process, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 13, No. 2, pp. 35~40.
- [6] P. S. Ko, J. H. Kim, B. M. Kim, 2018, Process Map for Improving the Dimensional Accuracy in the Multi-Stage Drawing Process of Rectangular Bar with Various Aspect Ratio, Trans. Mater. Process, Vol. 27, No. 3, pp. 154~159.
- [7] H. H. Kwon, J. R. Lee, 2002, Die Design of Drawing for the Copper Bus-bar, Trans. Kor. Soc. Mach. Tool Eng., Vol. 11, No. 4, pp. 82~88.
- [8] J. H. Park, S. M. Byon, 2018, Drawing Process with Rotational Die for Forming Grooves in a Tube, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 17, No. 4, pp. 123~129.
- [9] H. K. Jung, J. K. Park, H. C. Kim, J. B. Kim, 2018, An Investigation into the Effect of Ultrasonic Vibration on Drawing Force, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 35, No. 5, pp. 493~498.
- [10] S. W. Choi, C. H. Park, S. W. Lee, J. T. Yeom, J. K. Hong, 2017, Drawing Process Design and Mechanical Properties Control for High Strengthening of CP Titanium, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 34, No. 2, pp. 77~81.
- [11] D. H. Park, H. H. Kwon, 2016, Development of Automobile Engine Mounting Parts Using Hot-Cold Complex Forging Technology, Int. J. Precis. Eng. Manuf. - Green Tech., Vol. 3, No. 2, pp. 179~184.