

다이아몬드 연마재 입도가 초경 습식신선 다이스 수명에 미치는 영향

이상곤¹· 김민안¹· 고대철²· 김병민[#]

The Influence of Diamond Abrasive Size on the Life of Tungsten Carbide Wet Drawing Dies

S. K. Lee, M. A. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim

(Received August 29, 2006)

Abstract

Wet wire drawing of brass coated steel wire, used for tire reinforcement, is realized with Tungsten Carbide(WC) dies sintered with a cobalt(Co) binder. Dies wear represents an important limitation to the production process and cost savings. Several parameters, such as Co content, WC grain size of tungsten carbide, sintering conditions, and so on, affect on the wear of the drawing die. In this study, the effect of the diamond abrasive particle size on the life of the WC centered dies of the wet wire drawing was investigated. Wet wire drawing experiments were carried out on a wet wire drawing machine. From the experiments, the dies life, dies fracture, wire surface roughness, and wire breaks were investigated. From the results, it was found that the wear of the WC dies increased with the increase in the diamond abrasive particle size.

Key Words : Wet Wire Drawing, Tungsten Carbide Dies, Die Life, Diamond Abrasive Size, Wet Wire Drawing Experiment

1. 서 론

자동차 타이어의 보강재로 사용되고 있는 스틸코드의 경우 탄소함유량 0.7wt% 이상인 고탄소강으로 일반적으로 건식신선, 열처리 및 습식신선을 통해 생산된다. Fig. 1 에서 보듯이, 스틸코드 신선 시 사용되는 신선 다이스의 경우 선재와 접촉하여 선재 직경을 감소시키는 팁과 팁을 고정하고 있는 다이스 케이스로 구성되어 있다[1~2]. 특히, 고탄소 스틸코드 신선 시 선재의 변형에 직접적인 영향을 미치는 팁의 경우, 일반적으로 텅스텐 카바이드에 바인더로 코발트를 첨가하여 고온에서 소결한 초경합금으로, 기계가공 및 최종적으로

다이아몬드 연마재로 표면 사상을 행한 후 완성된다. 스틸코드 생산을 위한 마지막 신선공정인 습식신선의 경우 일반적으로 1000m/min 이상의 초고속으로 진행되기 때문에 신선 중 다이스 마멸 및 파손에 의한 다이스 교체 시간이 생산비용 증가 및 생산성 저하를 초래한다[3~5]. 따라서 다이스 마멸 및 파손 저감을 통한 신선공정의 생산성 향상이 상당히 중요하다.

본 연구에서는 스틸코드 생산을 위한 최종 습식신선 공정에서 초경 다이스 팁의 최종 연마공정에 사용되는 다이아몬드 연마재의 입도에 따른 습식신선 다이스의 마멸 및 파손 특성을 평가하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 성분이 동일한

1. 부산대 대학원 정밀기계공학과
2. 부산대 동남권부품소재산업협력혁신 연구소
교신저자 : 부산대 정밀정형 및 금형가공 연구소
E-mail : bmkim@pusan.ac.kr

초경합금 선선 다이스에 대하여 황동 도금 고탄소강 스틸코드 생산을 위한 습식신선 실험을 실시하여 다이스의 마찰계수, 마멸 및 파손 특성, 다이스 수명, 선재 표면정도 등을 평가하였다. 실험 결과, 최종 다이아몬드 연마제의 입도가 적은 경우 다이스 표면 연마 정도 향상으로 인해 다이스 수명, 선재 표면정도 및 생산성이 향상됨을 알 수 있었다.

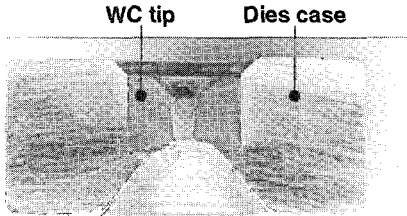


Fig. 1 Cross section of a drawing die

2. 습식신선실험 조건

2.1 다이스 및 선재 재질

본 연구에서 사용한 선선 다이스 팁의 경우 텅스텐 카바이드를 소결하여 제작된 초경합금으로 그 성분은 W 87%, C 6%, Co 6.2%, 그리고 미량의 Nb와 Ta로 구성되어 있으며, 경도(HRA)는 약 91.7이다. 최종 연마제로 사용된 다이아몬드 연마제 입도 영향을 평가하기 위하여 입도 2~4 μ m와 8~10 μ m 두 가지를 적용하였다. Fig. 2에 각각의 연마제를 나타내었다. 다이스 반각은 6°이고, 베어링 길이는 입선축 선재 직경의 0.3배이다.

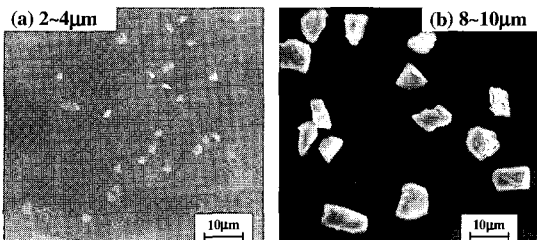


Fig. 2 Diamond abrasive

본 연구에서 사용한 스틸코드용 선재의 경우 탄소함유량이 0.8wt%인 고탄소강으로 초기 5.5mm의 선재를 두 번의 건식신선 및 열처리를 통해 직경 1.45mm로 감소시킨 후 타이어 소재인 고무와의 접착성을 향상시키기 위해 표면에 황동(Cu

64%-Zn34%) 코팅을 행한 상태이며[6], 인장강도는 약 1256MPa이다.

2.2 습식신선 조건

본 연구에서 적용한 습식신선공정은 초기 1.45mm 선경을 최종 0.25mm 로 만드는 공정으로 총단면 감소율이 약 97 %인 24 패스 공정이다. 실험에 적용한 최종 신선속도는 800m/min 이다. Fig. 3에 각 패스에 대한 다이스 감면율을 나타내었다.

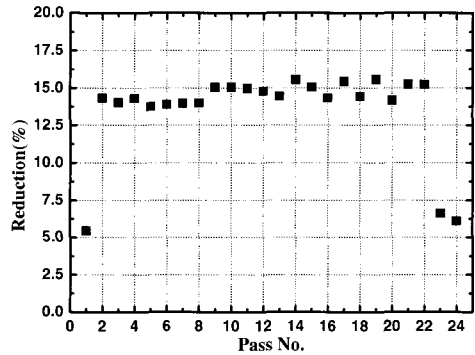


Fig. 3 Dies reduction at each pass

3. 신선실험 결과

이상의 조건으로 습식신선 실험을 실시하여 최종 다이아몬드 연마제 입도가 다이스 수명 및 선재의 표면정도 등에 미치는 영향을 평가하였다.

3.1 신선력 및 마찰계수

본 연구에서 적용한 습식신선 실험 패스에 대하여 드로벤치를 이용하여 다이아몬드 연마제 입도에 따른 신선 시 각 패스에 대한 신선하중을 평가하였다. Fig. 4에 각 패스의 신선하중을 나타내었다. Fig. 4에서 다이아몬드 연마제 입도가 큰 경우가 각 패스에서의 신선하중이 높은 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 5의 다이아몬드 연마제 입도에 따른 신선 다이스 연마면 상태에서 알 수 있듯이, 다이아몬드 연마제 입도가 큰 경우 다이스 표면 거칠기 증가로 인하여 마찰저항이 증가하기 때문이다. 이를 정량적으로 평가하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 4의 신선하중을 이용하여 각 패스에서의 마찰계수를 평가하였다. 각 패스의 마찰계수는 A. Geleji가 제안한 다음의 식을 이용하였다[7].

$$P = k_n (F + Q \cdot \mu) + 0.77 \cdot \alpha \cdot k_m \cdot f \quad (1)$$

여기서, P 는 신선하중, k_m 은 재료의 평균변형저항, F 는 다이스 입구측과 출구측 선재의 단면적 차이, Q 는 선재와 다이스의 접촉면적, μ 는 마찰계수, α 는 다이스 반각, k_{fm} 은 재료의 평균변형강도, f 는 다이스 출구측 선재 단면적이다. 식 (1)에 의한 다음의 식 (2)를 이용하여 각 다이스에서의 마찰계수를 평가하였다.

$$\mu = [(P - 0.77 \cdot \alpha \cdot k_m \cdot f) / k_m - F] / Q \quad (2)$$

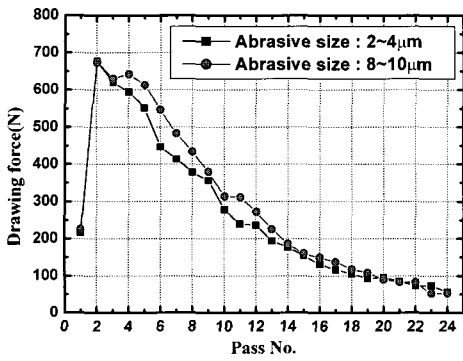
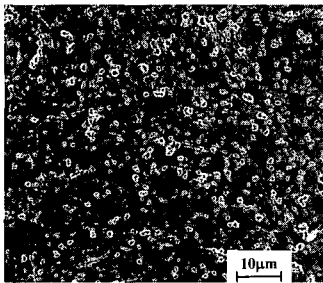
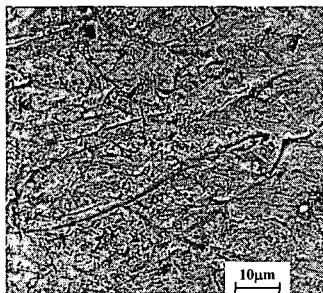


Fig. 4 Drawing force



(a) Abrasive size : 2~4µm



(b) Abrasive size : 8~10µm

Fig. 5 Surface of the dies (SEM)

Fig. 6에 각 패스별 마찰계수를 나타내었다. Fig. 6의 결과에서 다이아몬드 연마재 입도가 8~10 µm인 경우가 다이스 표면 거칠기 증가로 인하여 마찰계수가 높음을 알 수 있다.

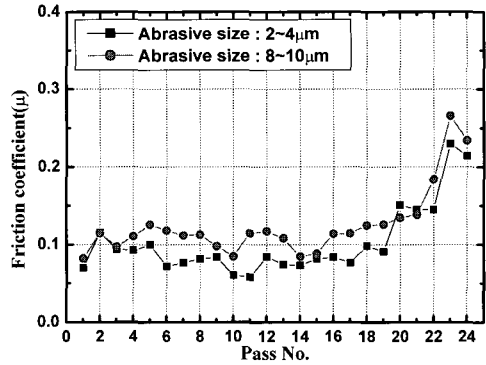


Fig. 6 Friction coefficient

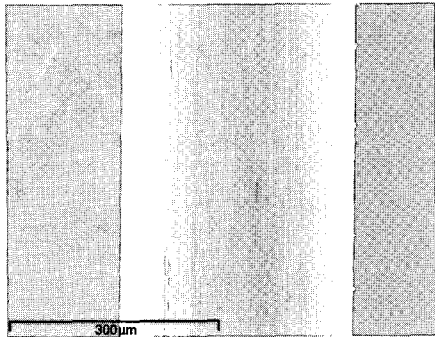
3.2 습식신선실험 결과

다이스의 최종 연마 상태가 다른 두 다이스에 대하여 실제 현장에서 적용하고 있는 습식신선을 행하였다. Table 1에 실험결과를 나타내었다.

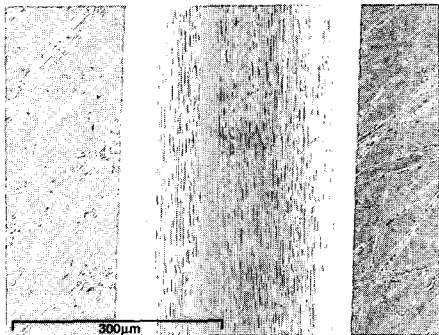
Table 1 Results of the wet wire drawing test

Items	Case 1	Case 2
Abrasive size(µm)	2~4	8~10
Total production(ton)	100	30
Max. roughness of drawn wire(µm)	0.32	0.86
Die life(days)	10	2.7
Fracture ratio of die(%)	4.8	23.0
Wire breaks(times/ton)	0.10	0.43
Cuppy breaks(%)	19.0	54.0

Table 1의 실험결과에서 알 수 있듯이 최종 다이아몬드 연마재 입도가 2~4µm인 경우(Case 1) 1세트의 다이스를 완전히 교환하는 시기로 평가되는 다이스 수명은 10일, 다이스 파손 비율은 전체 다이스에 대하여 4.8%, 그리고 선재 생산량은 약 100ton이었다. 이에 비해 연마재 입도가 8~10µm인 경우(Case 2)에는 다이스 수명, 파손 비율은 각각 약 2.7일, 23%였고, 생산량은 약 30ton으로 Case 1의 30% 이하였다. 따라서, 최종 다이아몬드 연마재 입도가 작은 Case 1의 경우가 다이스 수명



(a) Abrasive size : 2~4μm



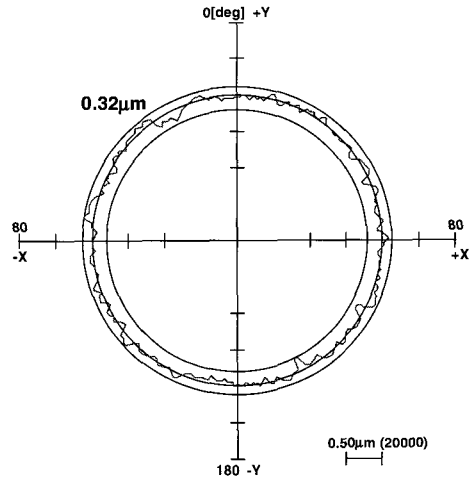
(b) Abrasive size : 8~10μm

Fig. 7 Comparison of surface

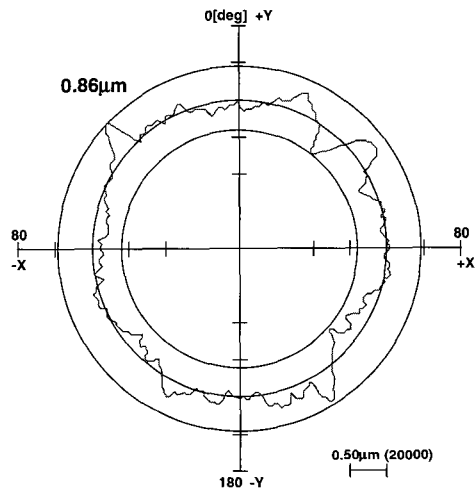
및 생산량에서 상당히 우수한 결과를 나타내었다. 신선 중에 발생하는 선재의 단선율도 Case 1의 경우가 톤당 0.10회로 톤당 0.43회의 Case 2보다 월등히 우수하였다.

Fig. 7은 Case 1과 Case 2에 대한 신선재의 표면 상태를 나타낸 것이다. 최종 다이아몬드 연마재의 입도가 작은 Case 1의 경우가 선재 표면 상태가 보다 좋음을 알 수 있다.

각 경우에 대하여 실제 신선된 최종 선재의 표면 조도를 측정하여 그 표면정도를 평가하였다. Fig. 8에 최종 선재의 표면조도 결과를 나타내었다. Fig. 8의 결과에서 알 수 있듯이 연마재의 입도가 작은 Case 1의 경우 신선재의 표면조도가 상당히 균일하며 최대 표면조도가 0.32μm였으나, 상대적으로 연마재의 입도가 큰 Case 2의 경우 신선재 표면조도가 균일하지 못하고, 최대 표면조도도 0.86μm로 상당히 높은 값을 나타내었다. 이는 Fig. 5의 연마재 입도에 따른 다이스 표면 상태에서 알 수 있듯이 연마재 입도가 상대적으로 작은 경우 연마된 다이스 표면 상태 또한 상대적으로



(a) Surface roughness of case 1



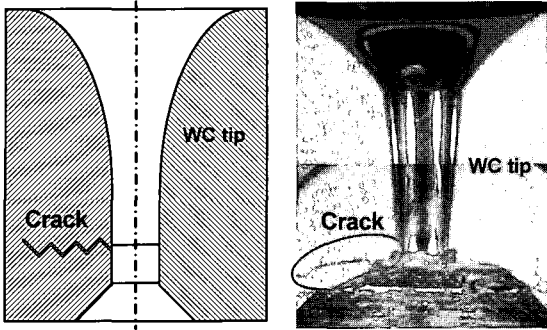
(b) Surface roughness of case 2

Fig. 8 Surface roughness of the drawn wires

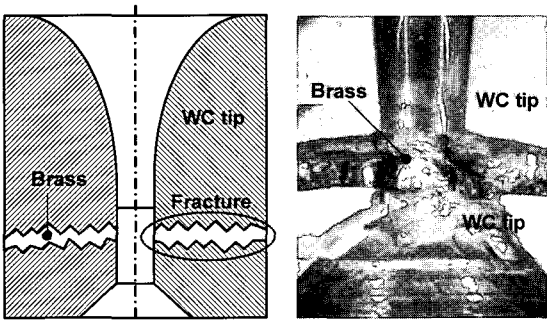
우수하기 때문이다. 이로 인하여 최종 신선재의 표면상태도 보다 우수하였다.

3.3 다이스 마멸 및 파손

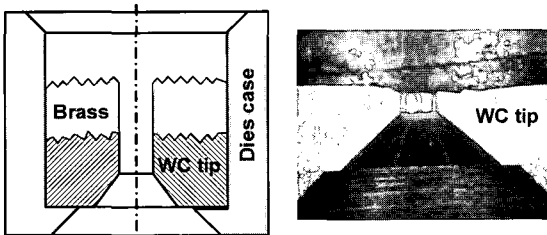
Table 1의 결과에서 최종 다이아몬드 연마재 입도에 따라 초경 다이스의 수명에 큰 차이가 있었다. 연마재 입도가 큰 Case 2의 경우 전체 다이스 중에서 마멸의 진전에 의한 다이스 파손 비율이 23%로 Case 1의 4.8%에 비해 약 5배 증가하였다. 본 연구에서는 다이스 단면관찰을 통하여 마멸에 의해 발생하는 다이스 파손 양상을 관찰하였다.



(a) Initiation of crack



(b) Occurrence of fracture



(c) Separation of WC tip

Fig. 9 Fracture of a drawing dies

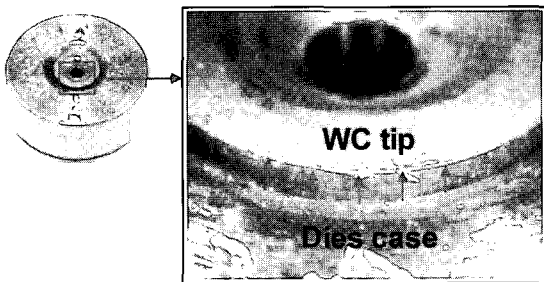


Fig.10 Separation of WC tip from dies case

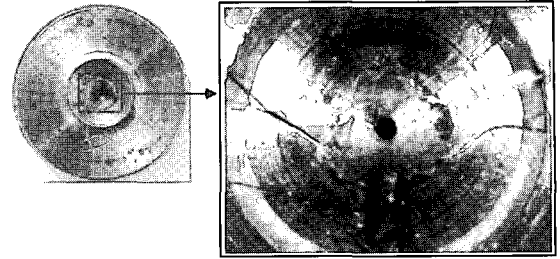


Fig.11 Cracks at the back-relief and exit of dies

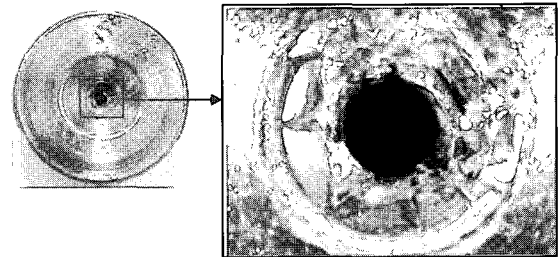


Fig.12 Fracture of back-relief and exit of dies

Fig. 9(a)에서 보듯이 다이스 마멸에 의하여 초기에 횡방향으로 미소균열이 발생하게 되고 균열은 진전된다. 동시에 Fig. 9(b)와 같이 스틸코드 표면에 코팅되어 있는 황동이 다이스 균열부분과의 접촉에 의해 선재표면에서 탈락되어 다이스 균열 부분에 축적이 되면서 다이스는 완전한 파손에 이르게 되어 Fig. 9(c)와 같이 최종적으로 파손된 초경팁이 다이스 케이스에서 탈락된다. Fig. 10은 초경팁이 완전히 파손되어 선재표면에 코팅되어 있는 황동이 축적되어 다이스 케이스에서 초경팁이 밀려나온 현상을 나타낸 것이다.

초경팁 내부의 횡방향 균열에 의한 파손 이외에 다이스 백릴리프와 출구부의 종방향 균열에 의한 파손도 관찰되었다. Fig. 11은 다이스 백릴리프와 출구부에 발생한 종방향 균열을 나타낸 것이다. Fig. 11의 균열이 진전되어 Fig. 12와 같은 다이스 백릴리프와 출구부에서 다이스 파손이 발생하게 된다.

3.4 선재의 단선

Table 1의 실험결과에서 Case 1의 경우 선재의 단선율이 0.1회/톤으로 Case 2의 0.43회/톤 보다 상당히 낮았다. 또한 전체 단선중 Fig. 13과 같은 Cuppy 단선 비율이 각각 19%와 54%로 Case 2의 경우가 월등히 높았다.

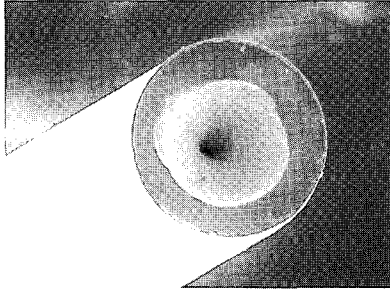


Fig.13 Cuppy breakage of the wire

다이스에 지나친 마멸이 발생할 경우 초경 다이스팁의 주성분인 WC입자가 바인더인 Co와 분리되어 Fig. 14에서 보듯이 선재에 박히게 된다. 이러한 경우, 신선 시에는 단선이 발생하지 않을 수 있지만, 후속공정인 연선공정에서 단선을 일으키는 원인이 된다.

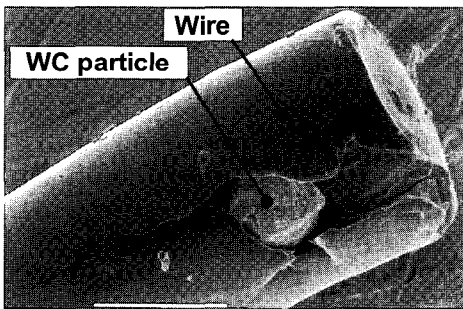


Fig.14 The wire with the WC particle

4. 결론

본 연구에서는 습식신선 실험을 통하여 습식신선용 초경다이스에 있어 최종 다이아몬드 연마재 입도가 다이스 마멸 및 단선을 등에 미치는 영향을 평가하여 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 최종 다이아몬드 연마재 입도가 큰 경우, 다이스 표면 거칠기 증가로 인하여 신선 시 선재와 다이스 접촉면에서의 마찰계수가 증가하였고, 이로 인하여 각 패스에서의 신선하중 역시 증가하였다.

(2) 다이아몬드 연마재 입도가 2~4 μm 인 경우가 8~10 μm 인 경우에 비해 선재의 생산량이 3 배 이상 높았으며, 신선된 선재의 표면조도 역시 보다 우수하였다.

(3) 연마재 입도가 2~4 μm 인 경우 다이스 수명이 약 10일로 8~10 μm 인 경우의 약 2.7일보다 약 3.7 배 이상 길었다. 공정중에 발생한 단선율도 2~4 μm 인 경우가 8~10 μm 인 경우보다 4배 이상 우수하였다.

(4) 습식신선 시 다이스 마멸에 의해 다이스에 미소 균열이 발생하고, 이 미소균열의 진전으로 인해 다이스가 파손되어 최종적으로 다이스 초경팁이 다이스 케이스에서 분리되는 것을 관찰할 수 있었다.

(5) 다이스 마멸 시 탈락된 초경 입자가 선재의 표면에 박혀 신선 시에 단선이 발생하지 않아도 이후 공정인 연선공정에서 선재의 단선을 일으키는 원인임을 알 수 있었다.

이상의 결과에서 습식신선용 다이스 제작 시 최종 다이아몬드 연마재의 입도가 적은 경우에 다이스의 마멸수명 향상, 공정안정화 및 신선재의 품질향상에 양호한 효과를 가짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Yamagawa, 1999, The improvement of manufacture and repair of the WC dies, JSTP Symposium, Osaka, Japan.
- [2] H. Saito, A. Iwabuchi, T. Shimizu, 2006, Effects of Co content and WC grain size on wear of WC cemented carbide, WEAR, In Press.
- [3] S. Hollinger, E. Depraetere, O. Giroux, 2003, Wear mechanism of tungsten carbide dies during wet drawing of steel tyre cords, WEAR, Vol. 255, pp. 1291~1299.
- [4] L. Cobin, 1995, Interpretation of wear and failure in wire drawing dies, Wire J. Int., pp. 68~72.
- [5] 이상곤, 김병민, 2005, 다단 습식 신선공정 해석 및 적용, 한국소성가공학회지, Vol. 14, No. 8, pp. 689~695.
- [6] S. Sasaki, H. Tashiro, 1998, Effect of brass plating on the drawability of fine steel wire with pearlite structure, Wire J. Int., pp. 104~109.
- [7] A. Geleji, 1960, Bildsame forming der metalle in rechnung und versuch, Akademie-Verlag GmbH, Berlin, p. 45.