

◆ 특집 ◆ 직선·회전모터 구동 이송·회전체 연구 II

# 자동차용 드럼 클러치 허브 제조를 위한 예비성형체 설계

## Preform Design for Manufacturing of Automobile Drum Clutch Hub Products

박준홍<sup>1</sup>, 김승규<sup>2</sup>, 강정호<sup>3</sup>, 박영철<sup>3</sup>, 김성환<sup>4</sup>, 서성열<sup>4</sup>, 박건형<sup>4</sup>  
Joon Hong Park<sup>1</sup>, Seung Gyu Kim<sup>2</sup>, Jung Ho Kang<sup>3</sup>, Young Chul Park<sup>3</sup>, Sung Hwan Kim<sup>4</sup>, Sung Ryul Seo<sup>4</sup>  
and Kun Hyung Park<sup>4</sup>

1 동아대학교 신소형재가공청정공정개발연구센터 (CANSMC, Dong-A Univ.)

2 동아대학교 기계공학과 대학원 (School of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.)

3 동아대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.)

4 (주)센트랄 (Central Corporation)

✉ Corresponding author: Parkyc67@dau.ac.kr, Tel: 051-200-7652

Key Words: Deep Drawing (딥드로잉), Drum Clutch Hub (드럼클러치 허브), FE Simulation (유한요소해석), Preform Design (예비성형체 설계),

### 1. 서론

현재 자동차 기어 및 클러치 등과 같이 회전운동을 위한 부품들은 고정밀도, 고강도, 고내구성의 요구에 의해 이들 부품의 대부분은 호빙, 세이핑 및 웨이빙과 같은 절삭가공에 의해서 생산되고 있다. 하지만 현재는 이들 제품의 생산성 향상을 목적으로 종래의 절삭가공법에만 의존하는 가공법의 단일성에서 벗어나 전조, 압출, 단조 등의 소성가공에 의한 부품 성형법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 소성가공은 생산성이 높고, 재료 소비율과 제품당 생산단가가 낮고, 제품의 기계적 성질 또한 우수하다는 장점을 가지고 있다. 최근에는 상품의 경쟁력강화 요구에 대한 부응을 위한 고부가가치의 소성가공기술 개발이 가속화되고 있는 추세이다. 그 중 표면적이 두께에 비해 무한히 넓은 소재, 즉 박판소재를 이용한 원통형 용기의 성형을 위한 딥드로잉(Dep Drawing)가공은 소성가공 중에서도 치수정밀도 및 성형하중의 측면에서 높은 난이도 요구한다. 이에 대한 많은 기초이론에 의거한 실험 및 유한요소해석을 이용한 다양한 연구를 통해 기술발전이 이루어지고 있다.

본 연구에서 예비성형체를 개발하고자 하는 자동차용 드럼 클러치 허브는 차량 성능 중 자동차 기동에 필요한 토크 전달에 직접적으로 영향을 주는 핵심 부품으로서, 동력 전달에 있어 진동 및 소음 발생, 동력 전달성 자체의 문제 등 전체 차량의 품질과 작동성능에 직결되는 부품이다.

본 연구에서는 현재 프로그레시브 금형(Progressive Die)에서 생산되는 드럼 클러치 허브 예비성형체에 대하여 완성차 업체가 요구하는 정밀한 제품을 생산하기 위한 새로운 예비성형공정을 제안하여 시제품을 생산하였다. 이는 기존의 딥드로잉 공정에서 최고의 난제로 제기되는 코너부 충전(Corner Filling) 문제를 해결하여 드럼 클러치 허브의 최종 제품 정밀도 향상에 기여할 것으로 사료되며, 기타 딥드로잉 공정에 적용하여 고정밀 딥드로잉 제품을 양산할 것으로 기대된다.

### 2. 자동차 변속기용 드럼 클러치 허브

드럼 클러치 허브는 자동차용 변속기에서 가장 핵심 부품중의 하나로서 자동차의 동력 전달성능과 진동 소음과 직접적인 연관이 있다. 아래의 사

진은 드럼 클러치 허브가 장착된 플래닛 캐리어를 나타내고 있으며, 붉은 색 점선 안이 최종 성형된 드럼 클러치 허브이다.

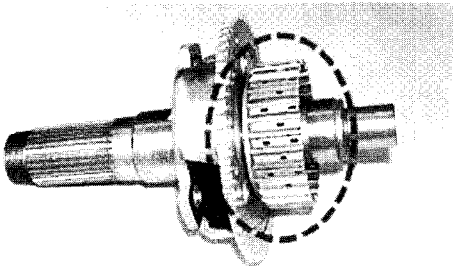


Fig. 1 Photograph of drum clutch hub products for automobile transmission

현재 드럼 클러치 허브 제품은 원소재를 일본으로부터 전량 수입한 후 프로그레시브 성형 공정으로 예비성형체를 제작하고, 이를 그로브(Grob™, Grob, Inc.) 전조 및 절삭가공에 의하여 치형부를 성형하게 된다.

그로브 성형 공정은 스플라인 샤프트(Spline shaft), 형강, 각종 기어 제품, 폴리 제품, 열교환기의 튜브 등의 성형에 적용되는 냉간 회전 성형 공법으로 아래의 사진은 회전 롤(Roll)이 장착된 그로브 성형공정의 한 예를 나타내고 있다. 드럼 클러치 허브 제품의 그로브 성형 공정에 관한 해석 및 최적 설계에 대한 연구는 차기 논문에서 언급하고자 한다.

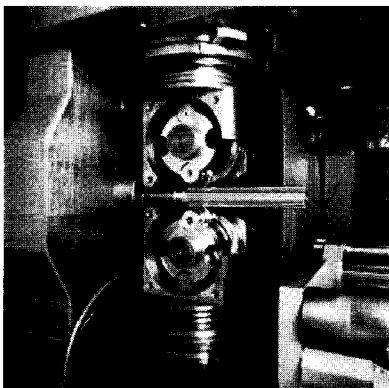


Fig. 2 An example of Grob™ forming process for spur gears

배기량 3000cc 급 이상 고급 차량에서의 6 속

변속기 전량 도입이 진행되고 있고, 향후 중형 차량에도 도입이 예상되는 바이트로 고 토크(Torque) 및 고출력에 대응하는 차세대 6 속 이상의 변속기 드럼 클러치 허브 제품 개발이 필요한 실정이다.

드럼 클러치 허브 제품에 관한 연구로서 Kim 등은 유동제어를 통한 복합 성형 공법을 시도하여 공정수 감소와 제품 생산에 따른 재료 손실의 최소화, 무절삭가공의 실현가능성을 강소성유한요소 해석을 통하여 검토하고 설계된 공정에 대하여 공정 변수들의 영향에 따른 최적의 성형 공정을 제시한 연구가 있다.<sup>1</sup>

Hussain 등은 CAMPform™ 을 이용하여 드럼 클러치 허브의 성형 공정을 해석하여 양호한 제품을 성형하기 위한 성형 조건을 제시하였다.<sup>2</sup>

최근의 팔목할만한 연구로서 Kim 등은 그로브 전조 공정을 대체하기 위한 새로운 프레스 성형 공정을 제시하여 펀치에서의 접근 각도, 치형 성형에서의 작동 방식에 따른 해석, 치형 성형을 위한 여러가지 아이어닝 공정(ironing processes)을 제시하여 그로브 전조 공정을 대체할 수 있는 새로운 가능성을 제시하였다.<sup>3</sup>

하지만, 클러치 허브 최종 제품을 생산하기 위하여 프로그레시브 공정을 적용할 경우 과도한 성형 하중에 의한 프레스 사양의 증가 문제가 발생하고 제품의 형상에 따라 특정 제품의 경우 공정수가 많이 늘어나는 단점이 있다. 특히, 예비성형체를 성형하기 위한 딥드로잉 및 아이어닝 공정은 그 자체적인 단점으로 코너 반경부에서의 충분한 두께와 벽면의 정밀한 편평도 및 진직도를 낼 수 없으므로 본 논문에서는 이를 만족시키기 위한 새로운 예비성형체의 형상을 제시하고자 한다.

### 3. 예비성형체의 딥드로잉 성형 공정

드럼 클러치 허브 제품은 고정밀도, 고강도, 고내구성 등을 요구한다. 특히 드럼 모양인 예비성형체의 벽면과 바닥면의 두께 변화 및 분포는 제품의 2 차 가공 즉 치형 생산에서 제품불량률에 직접적인 영향을 미치므로 대단히 중요하며 제품의 질을 직접적으로 결정하는 인자들이다. 박판 딥드로잉 가공에서도 제품의 두께 분포가 가장 중요한 문제이므로 이에 대한 많은 연구가 이루어졌으며, 그 중 Abe,<sup>4</sup> Kim<sup>5</sup> 등의 연구를 통해 하부 급형의 소재 도입부 형상이 제품 두께 분포 및 변화에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 알려져 있다.

### 3.1 성형 해석

본 연구를 위한 성형해석에는 강소성 유한요소 해석 코드인 DEFORM-2D™ 가 사용되었고 해석 조건은 Table 1 에 나타내었다. 클러치 드럼허브 프리폼의 소재는 자동차 클러치 부품류 생산에 대표적으로 사용되는 드로잉 강판 SAPH 3.0t 이며, 인장시험을 통해 확보한 소재의 기계적 성질은 Table 2 에 정리된 것과 같다. Table 2 의 시험결과를 이용하여 유동응력곡선(Flow stress curve)으로 커브피팅(Curve fitting)을 통해 다음과 같이 정의하고 성형 해석에 사용하였다.

$$\bar{\sigma} = 869\bar{\epsilon}^{-0.1265} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Table 1 Condition for FE-simulation

Conditions	Type
Material of workpiece	SAPH
Punch speed	1.0mm/s
Friction	0.1

Table 2 Tensile test results of SAPH

Properties	Experiment data
Yield Strength	290MPa
Tensile Strength	493MPa
Young's Modulus	40.011GPa
Elongation	39%

### 3.2 성형 공정

#### 3.2.1 드로잉 방향

드로잉 공정은 “U”자 타입의 드로잉 공정과 “∩”자 타입의 역드로잉 공정으로 구분되며, 순차적 드로잉 성형공정의 경우 제품의 취출 및 이송과 같은 잇점으로 인하여 역드로잉 공정을 주로 채택하고 있다.

본 연구에서는 드럼 클러치 허브 제품의 성형에서 역드로잉 공정을 유한요소해석을 통하여 검토하였다.

아래의 그림은 클러치 허브 제품의 드로잉 및 역드로잉 성형 공정의 개략도를 나타내고 있다.

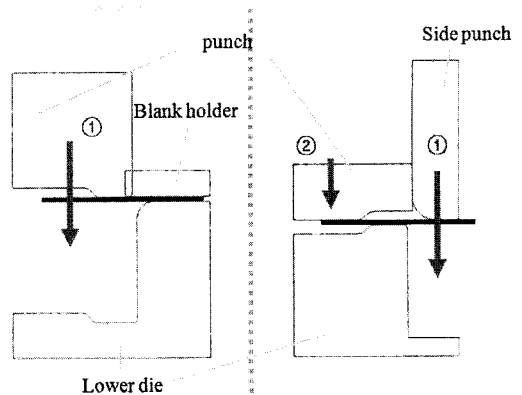


Fig. 3 Comparison between drawing and reverse drawing processes for clutch hub products

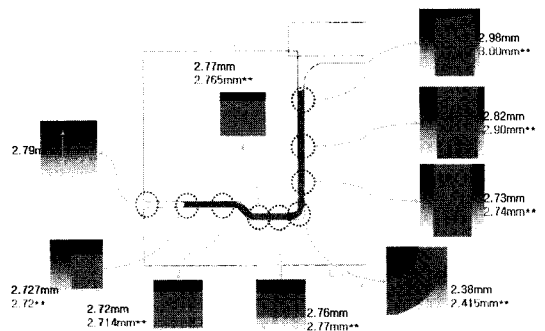


Fig. 4 Comparison of dimension between drawing and reverse drawing processes in various forming parts (thickness in upper part:results of drawing process, \*\*:results of reverse drawing process)

위의 해석 결과에서, 역드로잉 공정을 채택할 경우 코너 반경 부위에서 기존의 제품보다 두꺼운 제품 두께를 얻을 수 있다.

#### 3.2.2 코너 반경부 치수 증가를 위한 설계방안

일반적으로 드로잉 공정을 수행할 경우 코너부 치수 감소는 당연한 결과로 받아들여지고 있다. 하지만, 드럼 클러치 허브 제품의 경우 코너부 치수 확보 여부가 최종 제품의 그로브 성형에 큰 영향을 끼치므로 이 부분의 치수 증가를 위한 예비성형체의 형상 설계가 아주 중요하다.

본 연구에서는 딥드로잉 공정에서 코너부 치수 확보를 위하여 다양한 경우에 대한 해석을 수행하였으며, 그 결과 딥드로잉 성형 공정에서의 새로운 프로파일(profile)을 제안하였다.

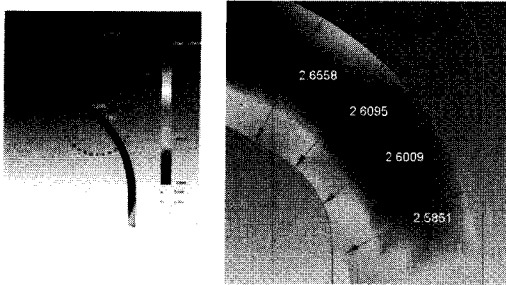


Fig. 5 Decrease of thickness dimension during the conventional deep drawing processes

Fig. 5 에서는 기존 딥드로잉 성형 공정에서 급형 형상을 원형으로 했을 경우 코너부위의 감소를 나타내고 있는데, 소재 두께 3.0t 에서 약 15%이상 감소하는 것을 나타나고 있다.

이러한 코너부 두께 감소를 방지하기 위해 본 연구에서는 다중 테이퍼(taper)가 진 예비성형체를 제안하여 해석을 수행하였다. 아래의 그림은 제안된 예비성형체의 형상을 나타내고 있다.

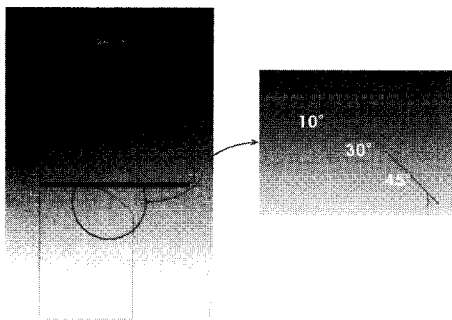


Fig. 6 The proposed profile of deep drawing perform

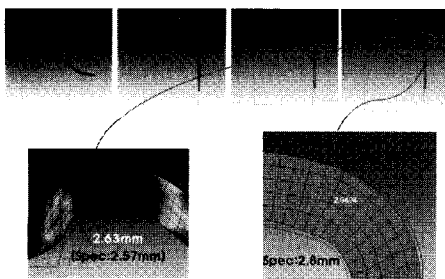


Fig. 7 Results of corner dimension after deep drawing

Fig. 7 의 결과에서 코너 반경부위의 치수 감소는 원소재 두께 3.0mm 에서 2.97mm 로 1%의 감소만을 나타내고 있어, 제안된 예비성형체 형상으로

성형할 경우 코너부 치수감소를 방지할 수 있을 것으로 해석되었다.

또한 비교를 위해 아래의 개략도와 같은 예비성형체에 대한 해석을 수행하였으며, 그 고찰은 다음과 같다.

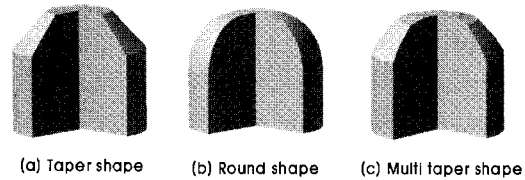
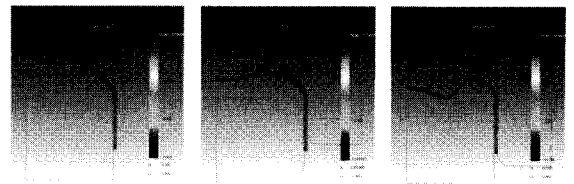
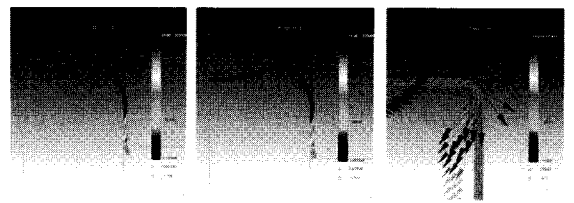


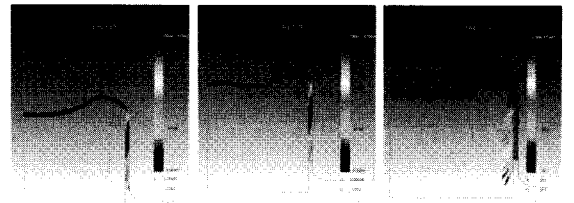
Fig. 8 Various shapes of die corner for 1<sup>st</sup> deep drawing process



(1) Result of simulation for taper shape



(2) Result of simulation for round shape



(3) Result of simulation for multi taper shape

Fig. 9 Results of FE simulation for 2<sup>nd</sup> Drawing

Fig. 9 는 다이 및 펀치의 소재 도입부 각각의 형상 (a), (b), (c)에 따른 2 단계 딥드로잉 공정에서의 변형양상을 나타낸다.

그림에서 나타난 바와 같이 1 단의 테이퍼를 가진 형상 (a)의 경우 중심부 바닥면 부분의 소재가 제품 벽면 부위로 유동되어 요구되는 치수정밀

도를 향상시키지만 변형양상에서 굴곡이 심하여 폴딩이 발생하며, 드로잉 비가 높으므로 추후 치형 가공을 위한 그로브 전조시 제품의 결함으로 이어질 가능성이 높으므로 클러치 드럼허브 프리폼의 성형방법으로는 적합하지 않다.

라운드를 가진 형상(b)의 경우에는 Fig 9 의 (2) 와 같이 중요치수 부위 중 하나인 코너 부위에서 단유선이 분할되어 두께 감소의 원인이 되므로 역시 프리폼의 성형 방법으로는 적합하지 않다.

이에 반해 분할된 테이퍼를 가진 형상(c)의 경우 Fig. 9 의 (3)에서 볼 수 있듯이 적절한 소재의 분포로 인하여 중요시되는 제품 코너부위의 치수를 만족하며 폴딩 등의 문제점도 야기 시키지 않으므로 3 가지의 형상 중 가장 적합한 형상임을 알 수 있다.

**3.2.3 클러치 드럼 허브 성형 공정**

클러치 드럼허브 프리폼의 성형은 여러 조건을 고려하여 Fig. 10 과 같이 2 단계에 걸쳐 진행되며, 앞에서 언급한대로 일반적인 딥드로잉 공정에서의 펀치와 다이의 위치와 역할이 바뀐 역드로잉 방법을 채택하였다.

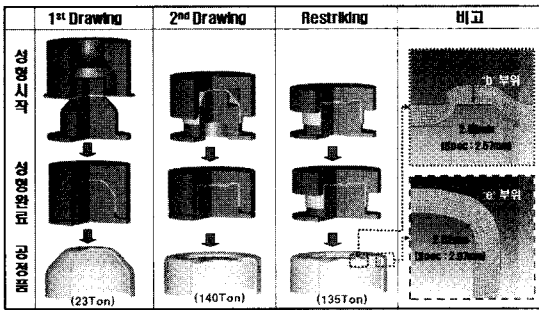


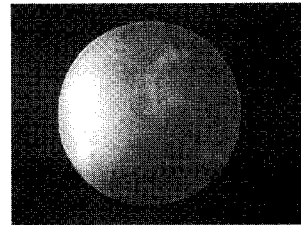
Fig. 10 Deep drawing and re-striking processes

성형 하중은 1<sup>st</sup> 딥드로잉 공정에서 23 톤, 2<sup>nd</sup> 딥드로잉 공정에서 140 톤, 리스트라이킹(re-striking) 공정에서 135 톤으로 해석되었다.

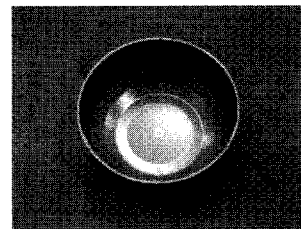
**4. 성형 시험**

앞의 해석 결과에서 프리폼의 딥드로잉 가공시 다이 및 펀치의 소재 도입부 형상은 분할된 테이퍼를 가진 형상(c)을 적용하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이러한 공정설계를 바탕으로

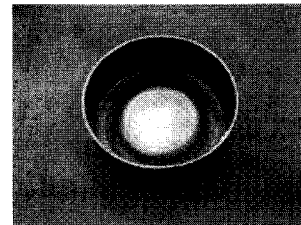
금형을 제작하여 Fig. 11 과 같은 예비성형체의 공정품을 제작하였다.



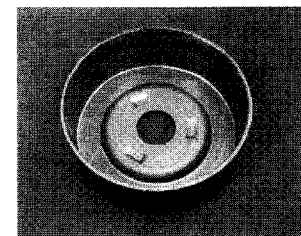
(a) original plate



(b) 1<sup>st</sup> deep drawing



(c) 2<sup>nd</sup> deep drawing



(d) re-striking & embossing

Fig. 11 Photograph of pilot products from 1<sup>st</sup> drawing to embossing process

성형시험 전체 결과 해석 및 시제품 주요치수의 전체 오차는 마찰조건, 블랭킹 홀더(blanking holder) 조건 등을 감안할 때 상당히 양호한 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 12 는 제품의 단면을 나타내고 있으며, "A"~"H" 부분의 치수를 측정하여 실제 해석 결과와 비교하였다.

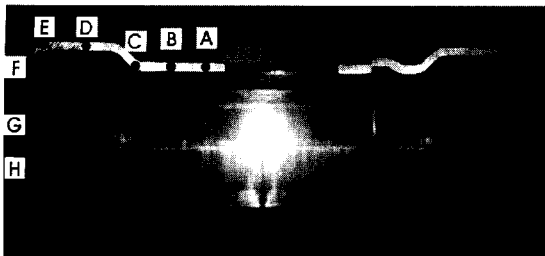


Fig. 12 Section view of hub perform and location of dimension measurement

Table 3 은 Fig. 12 의 각 부위의 두께에 대한 해석 결과와 시제품 측정결과를 나타내고 있으며 3.5% 오차 이내의 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

Table 3 Comparison of thickness measurement between FE simulation and test product

	Result of FE simulation	Result of testing	DIFF
A	2.8530	2.95	+0.0970
B	2.8517	2.99	+0.1383
C	2.8546	2.80	-0.0546
D	2.8869	2.86	-0.0269
E	3.2.125	3.10	-0.1125
F	2.7365	2.78	0.0435
G	3.0213	3.00	-0.0213
H	3.1210	3.02	-0.1010

### 5. 결론

본 연구에서는 자동차용 클러치 드럼허브 프리폼의 2 단계 딥드로잉 성형시 코너부 치수 감소를 방지할 수 있는 새로운 예비성형체 형상을 제안하였다. 또한 하부 다이와 상부펀치의 소재 도입부 형상이 제품의 코너부 두께에 미치는 영향에 대해 연구하였고, 그 공정 설계 결과를 이용하여 금형 제작 및 시제품 생산 시험을 수행하여 양호한 제품을 얻을 수 있었으며, 그 결론은 다음과 같다.

1) 클러치 허브 예비성형체의 딥드로잉 공정에서 정밀한 최종 제품을 얻기위한 형상을 제안하였으며, 해석과 실험을 통해 제안한 형상의 타당성을 입증하였다.

2) 성형하중, 치수정밀도, 변형양상 등을 고려할 때 현재 2 단계의 딥드로잉 가공에서의 소재도입부 형상은 3 부분으로 분할된 테이퍼를 가진 형상이 가장 적합였다.

3) 분할된 테이퍼를 가진 도입부 형상을 가진 금형의 딥드로잉 시 각 지점의 코너 반경이 제품의 편평도 및 벽면두께에 미치는 영향의 민감도가 높으므로 적절한 코너반경의 예측 및 설계가 중요하다.

4) 시제품 각 부분의 두께에 대한 해석 및 시제품 측정 결과 최대 3.5% 오차 이내의 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI 04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Park, J. N., Kim, D. H. and Kim, B. M., "Experimental Investigation on the Flow Control of Hub Clutch for Automobile," Transaction of Materials Processing, Vol. 11, No. 5, pp. 430-438, 2002.
2. Hussain, P. B., Cheon, J. S., Kwak, K. Y., Kim, S. Y. and Im, Y. T., "Simulation of Clutch-hub Forging Process using CAMPform," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 123, Issue 1, pp. 120-132, 2002.
3. Lee, J. M., Kim, B. M. and Kang, C. G., "A Study on the Cold Ironing Process for the Drum Clutch with Inner Gear Shapes," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, Issue 6, pp. 640-650, 2006.
4. Abe, Y., Mori, K. and Ebihara, O., "Optimization of the Distribution of Wall Thickness in the Multistage Sheet Metal Forming of Wheel Disks," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 125, No. 126, pp. 792-797, 2002.
5. Kim, H. K. and Hong, S. K., "FEM-based Optimum Design of Multi-Stage Deep Drawing Process of Molybdenum Sheet," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 184, Issues 1-3, pp. 354-362, 2007.