

원형컵 드로잉의 공정설계 변화가 제품품질에 미치는 영향

이재명*, 김종호**, 원시태**

(2002년 8월 31일 접수)

Influence of Process Design Scheme on Product Qualities in Cylindrical Cup Drawing

J. M. Lee, J. H. Kim and S. T. Won

Abstract

A systematic investigation for the process design in deep drawing is necessary to improve the quality of drawn cups. This study concentrates mainly on the influence of process design scheme on the product qualities in cylindrical cup drawing. Three types of process design scheme were chosen in this study. Case 1 is to draw a finished cup of 50mm in diameter in one stage, Case 2 and Case 3 are redrawing the first drawn cups of 55, 65mm in diameter to the final size respectively. Through experiments the maximum drawing force in two-stage cup drawing can be reduced up to 24% as compared with that of one-stage cup drawing. In addition, Case 3 process results in better product qualities than the other two processes in terms of the distributions of thickness and hardness.

Key Words : Process Design Scheme, One-Stage Cup Drawing, Two-Stage Cup Drawing

1. 서론

현재 금속성형분야에서는 박판 성형법(sheet metal forming)이 성형품의 강도에 비해 경량이며, 제조원가가 낮고, 양호한 표면가공 및 높은 정밀도를 얻을 수 있는 장점이 있다.

특히 디프 드로잉 공정은 자동차산업의 발달과 함께 그 중요성이 날로 증가하고 있으며, 이에 대한 이론적, 실험적 연구가 활발히 진행되고 있다.

그 중에서 Karzhavin⁽¹⁾은 다단의 축대칭 컵 연구에서 풀림 처리하지 않은 디프 드로잉의 경우 5가지의 파단 현상이 공정별로 다른 형태로 생성됨을 발표하였다.

또한 드로잉을 데이터를 이용한 드로잉공정의 자동설계는 Park⁽²⁻³⁾에 의해 원형컵 드로잉 공정에 적용 될 수 있는 프로그램이 제시되었으며, 그 후 Na⁽⁴⁾는 공정설계를 체계적으로 수행하기 위해 다 공정을 필요로 할때 Key stage와 Lay out의 개념을 도입하여 FEM해석과 함께 자동 공정설계를 할 수 있는 통합시스템을 발표한 바 있다. 그리고 Yang⁽⁵⁾은 원형컵 드로잉 공정에서 재드

* 서울산업대학원 정밀기계공학과, (현)현대 네트워크(주) 공통기술연구소 기구설계팀

** 서울산업대학교 정밀기계기술연구소(금형설계학과)

로잉과 역 재드로잉에 대한 두 공정의 성형특성 차이를 비교하였으며, Kim⁽⁶⁻⁷⁾은 스테인리스강판(STS305)의 성형조건을 실험적으로 연구한 결과, 중간 폴림 열처리없이 성형할 수 있는 최적 조건들을 조사하여 기존의 디프로딩공법에 아이어닝(ironing)작업을 복합시킨 아이어닝 디프로딩 공법의 유용성을 입증하였다.

그러나 원형컵 제품의 경우에는 몇 단계 공정을 거쳐 제작되는 것이 일반적이며, 여러 번의 공정을 필요로 하는 제품의 경우 중간 공정 설계에 따라 제품의 품질이 좌우되므로 중간공정 설계방법에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 같은 치수의 최종제품을 성형하는데 있어 1회 공정의 디프로딩공정으로 성형한 제품과 2회의 공정으로 나누어 성형된 제품에 대한 종합적인 비교, 검토를 통해 제품의 품질향상을 위한 최적의 공정 설계방법을 제시하고자 한다.

2. 실험방법 및 측정방법

2.1 실험방법

본 실험에 사용한 시편의 종류는 두께 0.5mm의 스테인리스강판(STS304), 냉간압연강판(SPCC), 인탈산동판(C1201)이며, 소재의 압연방향에 따라 0°, 45°, 90°방향으로 각각 3개의 KS B0801의 13호 시편으로 제작하여 인장시험을 하고 그 평균값을 얻었다.

본 연구에서 적용한 드로잉 공정설계는 직경 100mm의 블랭크를 1회의 드로잉 가공으로 직경 50mm의 컵을 완성한 Case 1과 직경 55, 65mm로 1차 드로잉한 중간공정의 제품을 직경 50mm로 다시 재드로잉하여 제품을 완성하는 Case 2, Case 3의 세 가지 종류로 나누어 실험하였다.

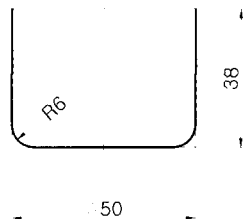


Fig. 1 A finished cup after drawing

Fig. 1의 제품을 성형하기 위해 트리밍여유, 드로잉틀, 펀치와 다이 각 반지름 등을 고려하여 Fig. 2와 같은 세 가지 경우의 공정설계에 맞게 다이, 펀치, 블랭크홀더

(blankholder)를 설계, 제작하였다. 이에 대한 금형의 각 부품 치수가 Table 1에 주어져 있다. 실험은 Fig. 3의 만능 박판성형성 시험기에서 블랭크홀딩력과, 윤활, 금형 틈새, 펀치와 다이 각 반지름, 드로잉속도(약 125mm/min) 등을 일정하게 유지시킨 후, 실험을 수행하였다.

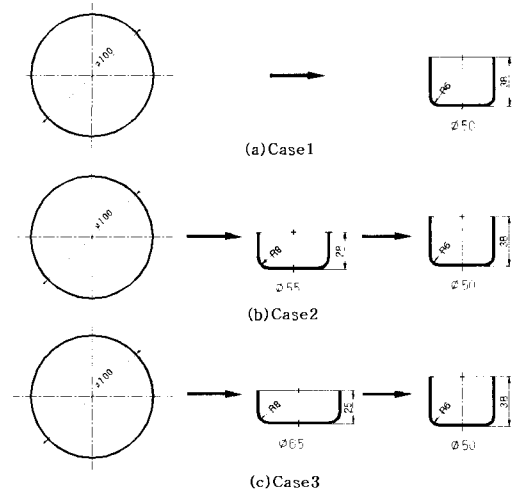


Fig. 2 Process design scheme for deep drawing

Table 1 Sizes of die components for experiments

Item	First drawing		Redrawing		Remarks	
	Case1	Case2	Case3	Case2		Case3
Diameter of die	52.00	56.44	66.45	52.00	52.00	Blank diameter: 100 Material thickness: 0.5
Diameter of punch	50.00	54.96	64.95	50.00	50.00	
Die corner radius	6.0	8.0	8.0	6.0	6.0	
Punch corner radius	6.0	8.0	8.0	6.0	6.0	
Diameter of blankholder	99.8	99	99	54.96	64.95	
Blankholder corner radius				8.0	8.0	

2.2 측정방법

성형된 제품의 두께분포, 경도 등을 측정하기 위해 시편을 압연방향에 대해 0°, 45°, 90°방향으로 제품단면을 절단하고 샌드페이퍼(#100~#1500)로 연마하여 시편을 준비하였다.

각 공정별 성형된 제품을 Fig. 4와 같이 절단하여 시편중심으로부터 2mm 간격으로 포인트 마이크로 미터를 이용하여 두께분포를 측정하였다. 두께 측정에 사용된 시편의 경도를 측정하기 위해 수직으로 몰딩하여 시편을 수직으로 마운팅하고 시편 단면을 래핑하였다.

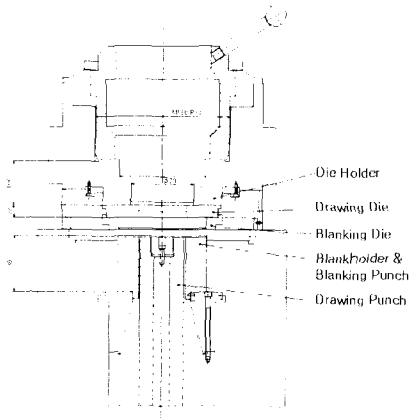


Fig. 3 Sectional view of assembled die parts in universal sheet metal testing machine

측정은 마이크로 비커스 현미경으로 (preload: 100gram) 절단된 시편단면중심에서의 경도를 3곳에서 측정하여 평균치를 구하였다. 제품높이는 귀현상(earring)이 일어난 성형품의 골(valley)부분 중 최소높이를 제품 높이로 하였다.

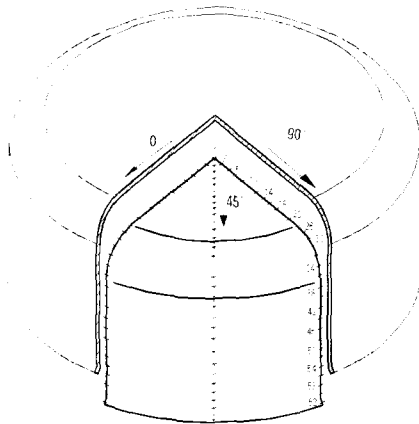


Fig. 4 Schematic view of measuring position for a drawn cup

2.3 실험조건

본 실험에 앞서 재드로잉까지 성공적으로 될 수 있는 윤활조건과 작업조건을 조사한 결과, SPCC와 C1201은 1차, 2차 드로잉시에도 무윤활 조건에서 성형이 가능하였으나, STS304의 경우엔, 직경 50mm의 1차 드로잉과 2차 드로잉에서 모두 파단이 발생하여, 각 소재에 드로잉 유 처리를 하는 것으로 결정하였다.

블랭크홀딩력은 드로잉작업에서의 주름발생을 억제할수

있는 최소하중이기 때문에 각 조건별로 예비실험을 한 결과 SPCC와 C1201인 경우에는 8KN, 7KN을 각각적용하였을 때 1, 2차 드로잉이 가능하였다. 그러나 STS304의 경우에는 직경 65mm 제품 성형시에 8KN, 직경 55, 50mm 제품 성형 시에는 13KN, 재드로잉시에는 11KN을 적용하였을 때 깨끗한 워형컵을 얻을 수 있어 이와 같은 조건에서 본 실험을 수행하였다.

실험 후의 제품 정밀도를 일관성 있게 측정하기 위해 블랭크 표면과 블랭크홀더 뒷면, 다이 밑면에 압연방향을 표시하여, 모든 실험이 일정한 방향 조건에서 수행되도록 하였으며, 드로잉시의 편치하중과 블랭크홀딩력은 자동으로 시험기의 컴퓨터 모니터상에 출력되어, 각 실험 조건간의 하중을 비교할 수 있도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시편의 기계적 성질 시험결과

각 시편의 압연방향에 따라 인장시험을 실행하였으며, 이에 대한 기계적 성질 데이터를 Table 2에 나타내었다.

Fig. 5는 인장시험 후 시편의 두께 분포를 나타내는 것으로 파단이 발생한 부위를 중심으로 2mm 간격으로 양방향 50mm까지 측정한 결과를 나타내고 있다. SPCC가 파단지점의 두께가 0.32mm로 가장 큰 두께 변화를 나타내고 있으며, STS 304의 경우는 시편의 전 영역에 걸친 두께변화분포를 나타낸다. 가공경화지수와 균일연신률이 큰 STS304는 넓고 균일한 분포를 보이고 있는 반면, SPCC와 C1201은 상대적으로 국부적인 변형이 큰 것으로 나타났다.

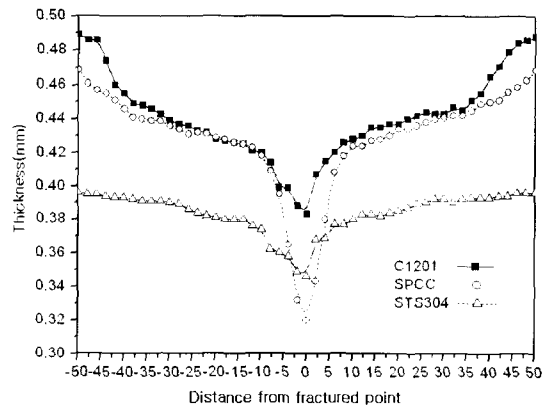


Fig. 5 Thickness distributions of fractured specimen after tensile test

Table 2 Mechanical properties of workpiece

Material	Rolling Direction	Yield stress (kg/mm^2)	Tensile strength (kg/mm^2)	Elongation (%)	Strain ratio (r)	Average strain ratio (r_m)	Micro vickers hardness(Hv)	$\sigma = C \epsilon^n$	
								Plastic coefficient (C)	Strain hardening coefficient (n)
STS304	0°	33.0	70.0	57.6	0.90	1.12	214	145.51	0.52
	45°	29.5	64.7	54.1	1.42			138.07	0.52
	90°	30.4	66.7	52.4	0.75			135.59	0.50
SPCC	0°	17.1	26.9	35.6	2.14	1.71	108	51.43	0.27
	45°	19.7	30.2	39.5	1.38			52.49	0.28
	90°	16.8	26.8	35.6	1.92			51.14	0.28
C1201	0°	24.7	27.9	28.3	0.78	0.94	104	38.27	0.14
	45°	23.2	25.8	26.5	1.13			33.92	0.12
	90°	24.0	26.7	23.8	0.70			36.48	0.14

Table 3 Maximum drawing forces for each process design

Material	Case 1	Case 2		Case 3		Max. reduction(%)
		1st drawing	Redrawing	1st drawing	Redrawing	
STS304	61.5	52.3	41.0	34.9	52.2	15
SPCC	29.1	27.1	21.9	20.0	22.4	23
C1201	24.5	22.3	16.0	16.4	18.7	24

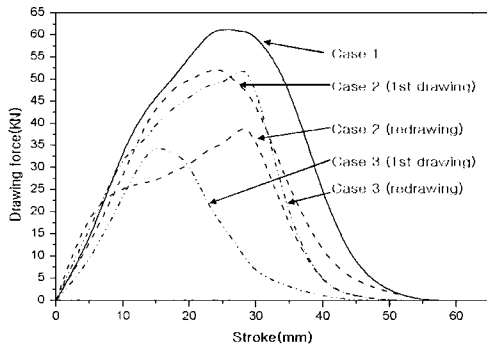


Fig. 6 Drawing force-stroke curves for STS304 material

3.2 각 공정별 드로잉 실험결과

3.2.1 드로잉하중 결과 비교

Fig. 6은 STS304 판재에 대해 각 공정조건에 따른 드로잉하중과 스트로크선도를 보여주고 있으며, 여기로부터 구한 공정별 최대드로잉하중을 다른 두 소재와 함께 Table 3에 정리하였다. 1회 공정으로 성형하는 Case 1 보다는 2회로 공정을 분할하면 하중감소를 기대할 수 있고, STS304, SPCC, C1201의 경우엔 하중감소 비율이 각각 15%, 23%, 24% 이었으며, 공정별로는 Case 2보다 Case 3에서 감소효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 가공경화지수값이 다른 소재에 비해 상대적으로 큰 STS304의 경우 하중감소효과가 제일 작은 것으로 나타났다.

드로잉공정설계에서 1차 드로잉하중을 크게 취할 경우 재드로잉 하중이 1차 드로잉하중보다 커지고, 반면 1차 드로잉하중을 한계드로잉하중 값에 가까운 값을 적용할 경우엔 재드로잉하중이 작아짐을 알 수 있다.

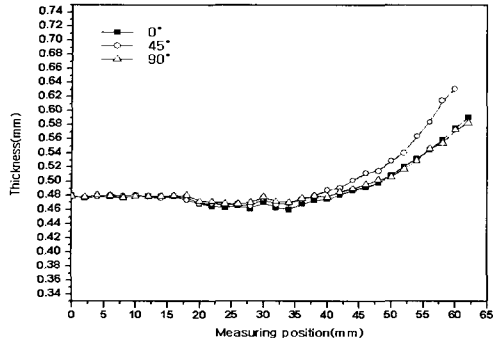
일반적으로 다공정설계에 있어서 공정간의 하중은 균일하게 분포되는 것이 제품품질에 좋은 영향을 미치게 되는데 본 연구에서의 세 경우에 대한 비교로서는 Case 1보다는 Case 2와 Case 3처럼 공정 분할하는 것이 유리하고 Case 2와 Case 3의 비교에 있어서는 1, 2공정에서의 하중 편차가 적은 Case 3이 우수한 것으로 나타났다.

그러나 STS304와 같이 가공경화지수가 크면서 조직변화를 유발하는 소재의 경우에는 Case 2, Case 3 모두 1, 2차 드로잉하중변화가 크게 나타나 이것 이외의 최적 공정설계가 필요한 것으로 판단된다.

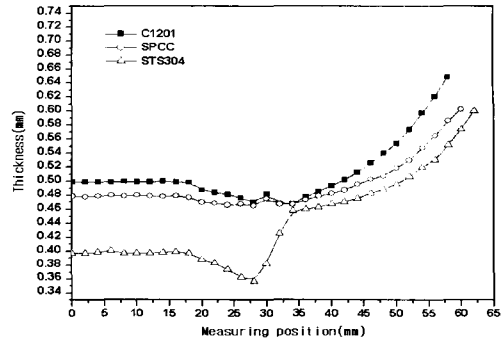
3.2.2 제품의 두께 분포 비교

Fig. 7은 소재의 이방성에 따른 두께 변화를 파악하기 위해 SPCC 성형굽의 두께 분포를 압연방향에 대해 0°, 45°, 90°방향으로 비교한 것이다. Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 0°, 90°방향의 r 값이 큰 부분에서 제품에 귀(earing) 현상이 발생하고, 45°방향에서는 r 값이 작아, 즉 두께 변형률이 큰 관계로 Fig. 7(a)에서와 같이 다른 방향보다 제품의 측벽이 두꺼워졌다. 이와 같은 이방성효과는 단공정 제품두께에서 뚜렷하고 2공정을 거친 똑같은 크기의 제품에 대해서는 효과가 적어지는 것을 Fig. 7(b), (c)를 통해 알 수 있다.

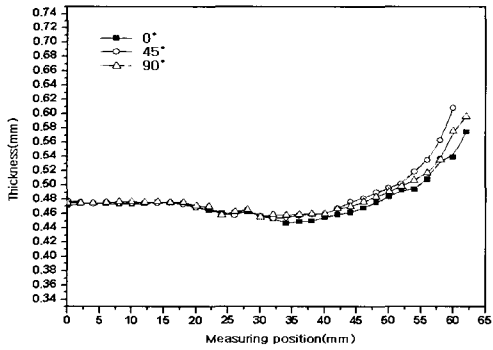
Fig. 8은 3가지 Case에 대해 실험한 성형품의 두께 분포를 재질별로 압연 방향에 대해 평균 처리한 값을 비교한 것이다. 똑같은 블랭크 치수일지라도 연성과 r 값이 작은 C1201소재가 두꺼운 두께 분포를 나타내고, 연성이



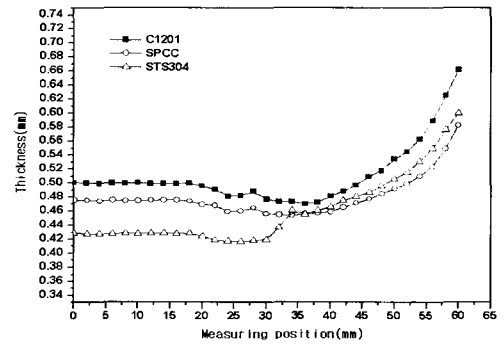
(a) Case 1



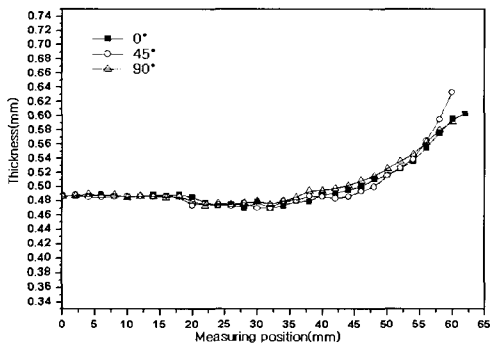
(a) Case 1



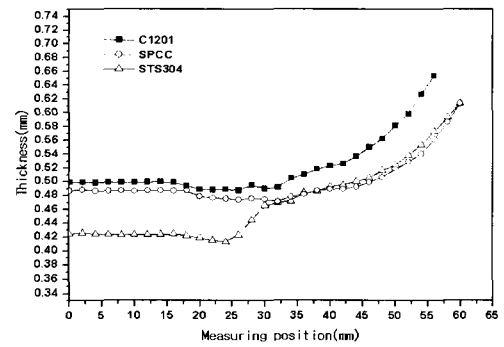
(b) Case 2



(b) Case 2



(c) Case 3



(c) Case 3

Fig. 7 Thickness distributions of SPCC drawn cup with respect to the rolling direction

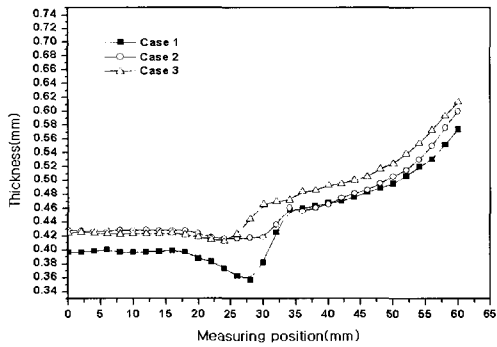
큰 STS304 소재가 파단이 일어나기 쉬운 편치 각 반지름 부위에서 제일 심한 두께 변형을 나타내고 있다.

Fig. 8(b), (c)에서처럼 제품성형에 2공정을 선택함으로써 편치 밀면의 얇아짐 현상이 둔화되는 것을 알 수 있고, 원소재 두께 0.5mm와 비교 할 때 측벽의 두께 증가율은 SPCC, STS304에 비해 r 값이 작은 C1201소재에

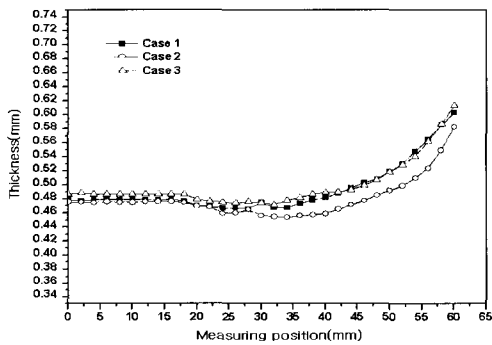
Fig. 8 Thickness distributions of drawn cups

서 약간 두드러지게 나타나고 있다. 재드로잉시에는 1차 성형품의 편치 각 반지름 부분이 측벽부위로의 재료유동이 일어나, Case 1과는 달리 드로잉하중을 지탱하는 부위가 바뀌어지면서 작업이 보다 안정되고 두께감소 현상도 개선되었다.

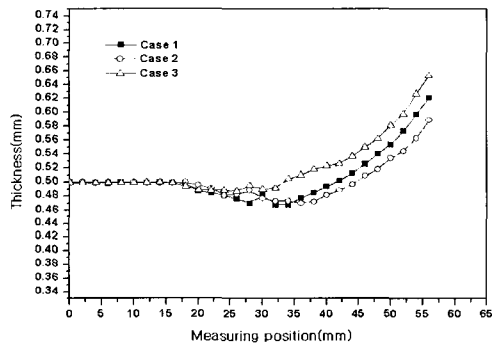
Case 1에서 가공경화지수값이 큰 STS304의 경우에는 드로잉 됨에 따라 측벽과 플랜지에서의 가공경화가 크게



(a) STS304



(b) SPCC



(c) C1201

Fig. 9 Thickness distributions of drawn cups

일어나 펀치밀면의 소재까지 1공정에서 변형되고 있음을 알 수 있다. 그러나 가공경화성이 작은 SPCC, C1201 소재의 경우엔 펀치 밀면과 펀치 각 반지름 부위에서의 두께 변화율이 아주 작고, 특히 C1201 소재에서는 펀치 밀면의 소재 두께가 거의 변화되지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 공정설계변화에 따른 효과를 분석하기 위해 각 소재의 공정별 제품두께분포를 비교한 것이다.

그림에서와 같이 연성과 가공경화지수가 큰 STS304의 두께 분포는 Fig. 5의 파단부 두께(0.345mm)를 고려할 때 거의 임계 변형에 도달된 것으로 판단되어, 1회 공정보다는 2회 공정으로 나누어 성형하는 것이 더 우수한 품질을 얻을 수 있고, 연성과 가공경화지수가 작을수록 드로잉 횟수가 두께 분포에 작은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

그리고 이들 3개 그림을 비교할 때 두께 분포는 재질에 관계없이 Case 3가 제일 양호한 것으로 판단된다. 즉, 원형컵 드로잉 공정설계에 있어서 제품의 두께를 균일화하기 위한 방법으로는 1공정에 의한 가혹한 공정설계보다 1공정에서는 안정성 있고 변형이 적은 공정을 취하고 2공정에서 완제품에 맞게 설계하는 Case 3공정설계가 최적인 것으로 나타났다.

3.2.3 제품의 성형깊이 비교

Fig. 10은 각 소재별, 공정별 조건에 따라 성형된 제품의 최소 골높이를 나타낸다. STS304의 경우엔 1회로 완료되는 Case 1에서 제일 높은 제품이 성형되지만 SPCC와 C1201에서는 Case 2에서 높은 제품이 성형되고 있다. 가공경화지수가 큰 STS304소재는 1회의 드로잉으로 깊은 성형이 가능하지만, 재드로잉에서는 기존의 가공경화 영향으로 성형성이 점차 둔화되고 있다. 그러나 SPCC와 C1201소재의 경우는 2회 작업함으로써 제품높이와 두께 분포에서 더 좋은 결과를 보이고 있다. 따라서 드로잉 공정설계는 제품의 성형깊이, 두께분포 등의 중요도에 따라 공정설계를 달리 할 필요성이 있다.

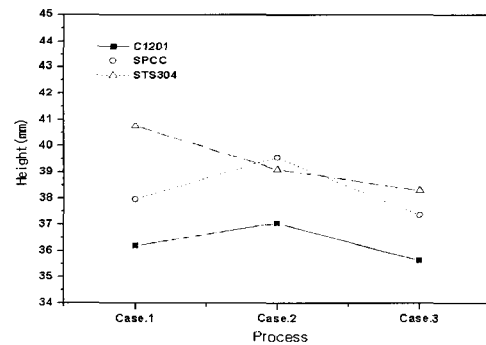
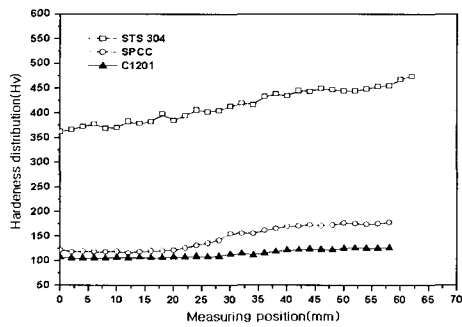


Fig. 10 Comparison of cup height for the change of process design scheme

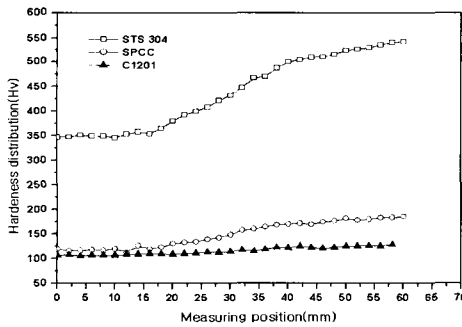
3.2.4 제품 경도 비교

Fig. 11은 각 소재별 공정조건에 따라 성형된 제품의

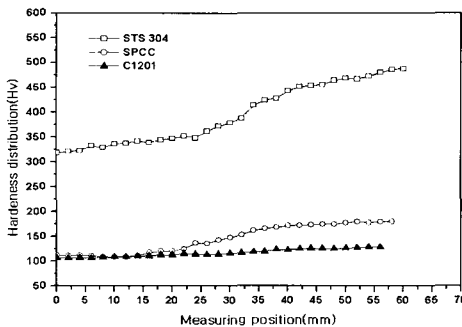
경도분포를 나타낸다. 공정설계방법에 관계없이 펀치 밀면으로부터 소재 측벽으로 갈수록 경도가 서서히 증가하고 있으며, 이 증가율은 가공경화 지수가 큰 소재일수록 커지고 있다. 원소재 경도를 기준으로 성형품의 밀면과 측벽 상부에서의 경도 변화 비율을 보면 STS304는 1.6~2.3배, SPCC는 1.1~1.7배, C1201은 1.0~1.2배 가공경화된 것으로 나타났다. 또한 공정설계방법에 따른 그림 (a),(b),(c)의 펀치 밀면과 측벽부에서의 경도증가율을 비교해 볼 때 Case 3가 Case 1, Case 2보다 약간 작게 나타나 보다 더 안정된 품질을 보이고 있다.



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 11 Hardness distributions of drawn cups

4. 결 론

본 논문은 똑같은 소재에 대해 컵드로잉을 할 때 드로잉 공정설계변화에 따른 성형품의 특성을 조사하기 위해 원형컵 드로잉 시험을 3가지 경우에 대해 수행하였으며, 이들의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 최대 드로잉하중은 1회의 공정으로 성형하는 Case 1보다 2회로 공정을 분할한 Case 2와 Case 3에서 15~24%의 하중감소효과를 나타내고 있다.

(2) 소재이방성에 따른 r 값의 차이로 인해 r 값이 큰방향에서 귀현상이 발생하였으며, 이러한 영향은 제품의 두께분포에도 작용하여 r 값이 큰 쪽에서 두께변화율이 적은 현상을 보였다.

공정설계변화에 따른 두께 분포에 있어서는 Case 1보다 공정을 분할한 Case 2, Case 3가 더 균일한 분포를 나타내고 있으며, 이들중에서는 미소하나 Case 3가 Case 2보다 두께품질이 더 양호한 것으로 나타났다.

STS304와 같이 가공경화지수 값이 아주 클 때에는 펀치 각 반지름에서의 두께가 현저히 감소되었으며 가공경화성이 작은 SPCC, C1201 소재의 경우에는 원소재 두께변화율이 작고, 특히 C1201소재에서는 펀치밀의 소재두께가 거의 변형되지 않는 것으로 나타났다.

(3) 드로잉 제품의 밀면에서 측벽부로 갈수록 가공경화에 의한 경도 증가가 나타나는데 이러한 경향은 가공경화지수가 큰 재질일수록 심하게 나타나고 있다. 경도분포는 3가지 경우 모두 비슷한 분포를 나타내고 있지만 정량적인 비교를 통해 Case 3의 가공경화가 덜 진행된 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 서울산업대학교 학술연구비 지원사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 실험과 자료정리에 도움을 준 최영윤, 이상민 학생에게도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) V. V. Karzhavin, 1987, "Problem of Fracture of Axisymmetric Articles During Multiple - Step Deep Drawing", Allerton Press, Inc, pp. 96~101.
- (2) 박상봉, 최영, 김병민, 최제찬, 김보환, 1996, "축대칭 디프드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구"

- (I)", 한국소성가공학회지, 제5권 제1호, pp. 27~36.
- (3) 박상봉, 최영, 김병민, 최재찬, 이종, 1996, "축대칭 디프드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (II)", 한국소성가공학회지, 제5권 제1호, pp. 61~71.
- (4) 나경환, 최석우, 최태훈, 정완진, 김종호, 배형수, 2000, "다단 디프드로잉 공정의 설계지원 시스템 개발", 한국소성가공학회지, 제9권 제6호, pp. 638~643.
- (5) 양선규, 1996, "박판 원형컵의 재드로잉 가공 특성에 관한 연구", 서울산업대학교 석사논문
- (6) 김두환, 1988, "원통형 디프 드로잉 용기의 벽두께의 감소 최소화에 관한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제7권, 제4호, pp. 393~399,
- (7) 김두환, 1998, "스테인리스강 305의 디프 드로잉 가공에 관한 실험적 연구." 한국소성가공학회지, 제7권, 제3호, pp. 439~444.