

사각형 드로오비드 인출 특성에 관한 실험적 연구

박 원배*, 김 창만**, 전 기찬***, 서 대교*

* 성균관대 기계설계학과

** 대원전문대 기계설계과

*** 기아 자동차(주)

An Experimental Study on the Restraining Characteristics through Square Drawbead

Won Bae Park*, Chang Man Kim**, Ki Chan Jeon***, Dae Gyo Seo*

* Dept. of Mechanical Design, Sung Kyun Kwan University

** Dept. of Mechanical Design, Dae Won Junior College

*** Kia motors

Abstract

The restraining characteristics for the single square drawbead are discussed. The drawbead restraining forces and maximum strains by the various drawing angles are measured experimentally. During this procedure, the drawing angles are varied from 0° to 60°. Also, the wide range of experimental data of the drawing forces and maximum strains for the various drawbead dimensions, clearances and blank holding forces are presented.

Key words: blank holding force, restraining forces, single square drawbead, drawing angle, clearance

1. 서 론

자동차용 박판재의 성형에서부터 일반생필품의 제작에 이르기까지 프레스 성형은 일반적인이다. 과거에서 현재까지 판재 성형시 판재 성형률의 향상을 극대화하고 또한 균일한 두께의 제품을 성형하기 위한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 판재성형시 성형률을 향상시키는 방법 중 적절한 드로오비드를 설치함으로써 프레스 성형시 판재의 유입을 적절히 조절하여 미끄럼저항의 균형을 이루어 판재의 주름 및 파단등의 결함을 제거함으로써 성형률의 향상을 가져올수 있다.

이러한 드로오비드의 본격적인 연구는 1978년 H.D. Nine^{[1][2]}에 의해 단일원형비드에 대한 연구를 시작으로 해서 1982년 Neng Ming Wang^[3]은 단일원형비드의 수학적 모델로 인출력을 유도하였다. 1982년 H.D. Nine은 단일원형비드 홈에 우레탄을 삽입하여 실험함으로써 인출력이 20%정도 증가함을 밝힌 바가 있다^[4]. 1983년 B.S. Levy는 드로오비드 인출력

과 이방성 영향, strain rate등을 가상일의 원리로 예측할 수 있는 방법을 제안^[5]하였으며, 1984년 J. M. Yellup^[6]과 M. J. Painter^[7]등은 좁은 드로오비드 시스템을 컴퓨터 모델화하여 비드홈 진입 깊이에 따른 인출력을 예측해 보았으며 1986~87년 B. Maker와 S.K. Samanta^{[8][9]}등은 인출력과 변위 분포 선도 등을 탄소성 셀 모델로 해석한 후 사각형, Round, Flat형등의 비드 실험으로 이론 해석을 검증한바 가 있다.

본 연구에서는 산업현장에서 널리 이용되고 있는 단일 사각형 드로오비드(Single Square drawbead)를 대상으로하여 판재성형시 초기에 비드부가 성형되고 그 다음에 성형될 제품의 밑바닥과 동일한 형상의 단면을 가지는 펀치가 진행함에 따라 공구다이 모서리부에서 판재의 접촉각도가 증가되는 현상을 살펴보기위해 인출각도를 0° 부터 10° 간격씩 60° 까지 7단계로 구분하여 실험하고 또한 그 각각의 결과들을 비교, 고찰해보고자 한다.

2. 실험

본 실험에 사용된 재료는 두께 0.7mm의 자동차 프레스 성형용 판재인 아연 도금 유기 피막 강판(SPC 3J-3J/3J)을 사용하였다. 비드 시험편의 제작은 먼저 시편을 길이 600mm, 폭 50mm, 두께 0.7mm의 크기로 동력절단기를 이용해 절단한 후 모아레 무늬입합장치에 의해 시편의 길이 200mm가량을 Photo Grid필름을 이용하여 직경 2.4mm크기의 원형 격자 무늬를 입혔다.

실제 판재 성형시 펀치가 전진함에 따라 공구 다이 모서리 부에서 소재의 인출각도가 변화되는 점을 착안하여 본 실험에서는 비드시험기에서 인출 각도를 0°부터 10°간격씩 60°까지 7단계로하여 소재를 인출하였다.

비드시험기에서 인출된 시편은 386PC와 연결된 TM-111 type의 공구 현미경에 Digital Gauge를 부착하여 1/1000mm까지 시편 길이방향의 대수변형률을 측정하여 최대변형률을 구하였으며, 블랭크 가압장치는 수동오일펌프에 압력 게이지를 부착한 모델:RC-256 Enerpac제품의 25ton 유압잭을 이용해 시편 인출시 블랭크 가압력을 일정하게 유지하였다.

비드 Set는 S45C강으로 가공한 후 연마하여 사용하였으며, 편의상 비드 좌측 모서리 반경을 R_1 , 비드 반경을 R_2 , 비드 우측 모서리 반경을 R_3 , 그리고 공구 다이 모서리 반경을 R_4 로 표시하여 비드형상 변화에 따른 인출 특성을 살펴보기 위하여 $R_1(R_3)$, R_2 , R_4 를 5mm, 2.5mm로 바뀌가며 실험하였다. 또한 블랭크 가압력 변화에 따른 인출 특성을 알아보기 위해 블랭크 홀딩력을 각각 399.6Kgf, 499.5Kgf의 두가지 경우로 하여 시편을 인출하였고, 상부 비드와 하부 비드사이의 틈새를 Clearance로서 표현하여 그 영향을 고찰하기위해 각각 1.5mm, 1.8mm로하여 실험을 수행하였다.

비드시험기에서의 실험 절차는 먼저 직경 2.4mm의 원형 격자무늬를 입힌 시험편을 비드 부에 160mm가량 삽입한 후 유압잭에 의해 원하는 일정 가압력으로 가압한 다음 인출하려는 인출 각도로 비드시험기를 setting시킨뒤 시편의 선단을 U.T.M(인장/압축시험기)의 grip에 물리고 상온에서 무윤활 상태로하여 인출속도를 분당 50mm의 속도로 인출하였다.

단일 사각형 드로오비드의 형상과 치수 및 시편형상은 Fig. 1과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1과 같은 형상 및 치수의 단일 사각형 드로오비드 세트와 시편에 대해 인출각도를

0°에서부터 10°씩 증가시켜 70°까지 7단계로하여 인출실험한 결과 Table 1.1 및 Table 1.2와 같은 실험결과표를 얻었다.

먼저, Table 1.1은 비드 좌,우모서리반경(R_1, R_3) 및 비드반경(R_2)을 5mm로하고 블랭크가압력을 399.6Kgf로하여 인출각도별로 인출실험을 했을때 얻은 실험결과표이며, Table 1.2는 인출력 및 변형률에 영향을 미치는 인자들(블랭크가압력, 클리어런스, 비드치수)을 각각 달리하여 얻은 실험결과표이다.

Fig. 2와 Fig. 3는 비드높이(H) 6mm, 폭(W) 10mm 및 비드 좌,우모서리반경(R_1, R_3)과 공구다이 모서리반경(R_4)을 5mm, 비드반경(R_2)을 3.5mm로 하였고, 또한 블랭크가압력을 399.6Kgf로하여 얻은 인출각도별에 대한 인출력 및 최대변형률에 대한 선도이다. 인출각도가 0°일때는 공구다이 모서리부에서 접촉이 없으므로 재료의 변형은 인장에 의해서만 일어나지만, 인출각도가 0°가 아닐때는 그 인출각도에 상당하는 굽힘에 의한 변형을 동반한다. 따라서, Fig. 2에서보면 인출각도가 증가할수록 인출력이 선형적으로 증가하고 또한 Fig. 3에서도 인출각도가 증가할수록 최대변형률 또한 선형적으로 증가함을 보여준다.

Fig. 4와 Fig. 5에서는 비드높이(H) 5mm, 폭(W) 10mm 및 블랭크가압력을 399.6Kgf로 일정하게 한 다음 비드 좌측모서리반경(R_1), 비드반경(R_2), 비드 우측모서리반경(R_3) 및 공구다이 모서리반경(R_4)을 각각 5mm 또는 2.5mm로 달리하여 실험하였을때 얻은 인출각도별 인출력과 최대변형률에 대한 선도이다. Fig. 4 및 Fig. 5에서보면 비드반경(R_2)이 2.5mm일때가 3.5mm일때보다, 또한 비드 좌,우측모서리반경(R_1, R_3)이 2.5mm일때가 5mm일때보다, 그리고 공구다이 모서리반경(R_4)이 2.5mm일때가 5mm일때보다 인출력 및 최대변형률이 다소 증가되고, 특히 비드 좌,우측모서리반경(R_1, R_3)이 작아질때가 가장크게 인출력 및 최대변형률이 증가됨을 보여준다.

Fig. 6과 Fig. 7은 비드높이(H) 5mm, 폭(W) 10mm 그리고 비드 좌,우모서리반경(R_1, R_3)과 공구다이 모서리반경(R_4)을 5mm, 비드반경(R_2)을 3.5mm로 유지한 상태에서 블랭크가압력을 각각 399.6Kgf와 499.5Kgf로하여 얻은 인출각도에 대한 인출력 및 최대변형률선도이다.

두선도 모두에서 블랭크가압력이 399.6Kgf일때보다 499.5Kgf일때가 인출력 및 최대변형률이 다소 증가되며, 또한 그 각각의 선도는 비교적 선형적으로됨을 알수있다.

Fig. 8과 Fig. 9에서도 Fig. 6과 Fig. 7에서와 동일한 조건으로 하고 단지 블랭크가압력을 399.6Kgf로 유지한후 클리어런스를 각각 1.5mm 및 1.8mm로하여 얻은 인출각도에 따른 인출력과 최대변형률선도이다. 클리어런스가 작을때가 클때보다 인출력 및 최대변형률이 선형적으로 증가됨을 보여주고, 특히 인출각도가 40°인 부근에서 인출력 및 최대변형률이 다소 뛰고 있음을 볼수있다.

Fig. 10은 다른 모든 조건은 일정하게 하고 단지 비드높이(H)의 영향을 보기위해 비드높이(H)를 각각 5mm와 6mm로하여 실험하였을때 얻은 인출각도에 대한 인출력의 선도이며, 비드높이(H)가 높을때가 인출력이 다소 증가되고, 특히 초기에는 인출력이 약 100Kgf정도의 차를 보이거나 인출각도가 30° ~ 40°인 부근에서 다소 감소하다가 다시 50° 부근에서부터 증가됨을 보여준다.

Fig. 11의 선도는 비드폭(W)의 영향을 고찰하기위해 다른 조건들은 일정하게하고 비드폭(W)만을 10mm와 8mm로 각각 다르게한 상태에서 실험을 수행하여 얻은 인출각도에 대한 인출력의 선도로서, 비드폭(W)이 작을때가 다소 인출력이 증가하고 또한 인출각도가 증가할수록 두 인출력선도의 간격이 좁아짐을 보여준다.

4. 결 론

본 연구에서는 산업 현장에서 널리 설치되고 있는 단일사각형드로오비드를 대상으로 인출각도별($0^\circ \sim 60^\circ$) 7가지로 인출실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사각형 드로오비드 인출력과 최대변형률은 블랭크가압력과 인출각도가 커질수록, 드로오비드부 좌우틈새(Clearance)가 좁아질수록 증가함을 알수 있었다.
2. 드로오비드 인출력과 최대변형률은 드로오비드반경(R_2), 공구다이 모서리반경(R_4)이 예리해질수록 증가하며, 특히 비드 좌,우모서리반경(R_1, R_3)이 작아질때 그 값들이 R_2, R_4 에 비해 상대적으로 크게 증가함을 알수 있었다.
3. 동일한 치수의 비드폭(W)에 대해 비드높이(H)가 클수록, 또한 동일한 치수의 비드높이(H)에 대해 비드폭(W)이 좁아질수록 드로오비드 인출력과 최대변형률이 증가함을 알수 있었다.
4. 판재 성형률의 향상을 위해 가장 적절한 형상의 드로오비드를 선택하기 위해서는 각종 드로오비드 형상에 따른 인출실험을 통해 얻은 결과들을 DATA BANK화하는 작업이 시급하다고 생각된다.

* 후기

본 연구는 한국 과학 재단 (과제번호:93-10-00-04-3)의 지원과 기아 자동차(주)의 협력에 의하여 수행 중에 있으며 지원에 감사 드립니다.

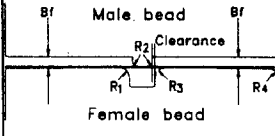
5. 참고문헌

- [1] H.D. Nine, 1978, "Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", Mechanics of Sheet Metal Forming, pp.179 - 211.
- [2] H.D. Nine, 1982, "The Applicability of Coulomb's Friction Law to Drawbeads in Sheet Metal Forming", J. of Applied Metal Working, Vol.2, no.3, pp.200 - 210.
- [3] Neng Ming Wang, 1982, "A Mathematical Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", J.of Applied Metal Working., Vol.2, no.3, pp.193 - 199.
- [4] H.D. Nine, 1982, "New Drawbead Concepts for Sheet Metal Forming, J.of Applied Metal Working", Vol.2, no.3, pp.185 - 192.
- [5] B.S. Levy, 1983, "Development of a Predictive Model for Draw Bead Restraining Force Utilizing Work of Nine and Wang, J. of Applied Metal Working", Vol.3, no.1, pp.38 - 44.
- [6] J.M. Yellup, 1984, "Modelling of Sheet Metal Flow Through a Drawbead", 13th IDDRG, pp. 166 - 177.
- [7] M.J. Painter, 1985, "The Prediction of Strip Shape and Restraining Force for Shallow Drawbead Systems", J. of Applied Metal Working, Vol.4, no.1, pp.30-38.
- [8] N. Triantafyllidis, B. Maker, and Shyam S.K.Samanta, 1986, "An Analysis of Drawbeads in Sheet Metal Forming : Part I - Problem Formulation", J. of Eng. Materials and Technology, Vol.108, pp.321 - 327.
- [9] N. Triantafyllidis, G. Grab, B. Maker, and Shyam S.K.Samanta, 1987, "An Analysis of Drawbeads in Sheet Metal Forming : Part II - Experimental Verification", J. of Eng.Materials and Technology, Vol.109, pp.164 - 170.

Table 1.1 Experimental results for single square drawbead

Single Square Drawbead	Drawing Angle	Drawbead Dim. (mm) *R1=R3=R4=5	Holding Force (Kgf)	Restraining Force (Kgf)	Strain (ϵ_{max})
	$\theta = 0^\circ$	H=6, W=10, R2=3.5	399.6	410	0.0764
		H=6, W=10, R2=2.5	399.6	452.5	0.0831
		H=5, W=8, R2=3.5	399.6	375	0.068
		H=5, W=8, R2=2.5	399.6	395	0.072
	$\theta = 10^\circ$	H=6, W=10, R2=3.5	399.6	435	0.0795
		H=6, W=10, R2=2.5	399.6	472.5	0.0858
		H=5, W=8, R2=3.5	399.6	390	0.0713
		H=5, W=8, R2=2.5	399.6	425	0.0738
	$\theta = 20^\circ$	H=6, W=10, R2=3.5	399.6	450	0.0826
		H=6, W=10, R2=2.5	399.6	497.5	0.0897
		H=5, W=8, R2=3.5	399.6	407.5	0.0754
		H=5, W=8, R2=2.5	399.6	440	0.0816
	$\theta = 30^\circ$	H=6, W=10, R2=3.5	399.6	475	0.087
		H=6, W=10, R2=2.5	399.6	520	0.0938
		H=5, W=8, R2=3.5	399.6	450	0.082
		H=5, W=8, R2=2.5	399.6	452.5	0.0833
	$\theta = 40^\circ$	H=6, W=10, R2=3.5	399.6	515	0.0924
		H=6, W=10, R2=2.5	399.6	572.5	0.109
		H=5, W=8, R2=3.5	399.6	480	0.0872
		H=5, W=8, R2=2.5	399.6	495	0.088
	$\theta = 50^\circ$	H=6, W=10, R2=3.5	399.6	565	0.104
		H=6, W=10, R2=2.5	399.6	600	0.128
		H=5, W=8, R2=3.5	399.6	510	0.0922
		H=5, W=8, R2=2.5	399.6	535	0.100
$\theta = 60^\circ$	H=6, W=10, R2=3.5	399.6	605	0.115	
	H=6, W=10, R2=2.5	399.6	635	0.143	
	H=5, W=8, R2=3.5	399.6	530	0.0967	
	H=5, W=8, R2=2.5	399.6	570	0.113	

Table 1.2 Experimental results for single square drawbead

Single Square Drawbead	Drawing Angle	Drawbead Dim. (mm) *H=5, W=10	Holding Force (Kgf)	Clearance (mm)	Restraining Force (Kgf)	Strain (ϵ_{max})	
	$\theta = 0^\circ$	R1=R3=R4=5, R2=3.5	499.5	1.5	352.5	0.061	
			399.6	1.5	297.5	0.0496	
					1.8	285	0.046
		R1=R3=R4=5, R2=2.5	399.6	1.5	330	0.054	
		R1=R3=2.5, R2=3.5, R4=5	399.6	1.5	532.5	0.126	
	R1=R3=5, R2=3.5, R4=2.5	399.6	1.5	345	0.055		
	$\theta = 10^\circ$	R1=R3=R4=5, R2=3.5	499.5	1.5	375	0.070	
			399.6	1.5	327.5	0.0588	
					1.8	312.5	0.0535
		R1=R3=R4=5, R2=2.5	399.6	1.5	345	0.0611	
		R1=R3=2.5, R2=3.5, R4=5	399.6	1.5	575	0.133	
	R1=R3=5, R2=3.5, R4=2.5	399.6	1.5	372.5	0.063		
	$\theta = 20^\circ$	R1=R3=R4=5, R2=3.5	499.5	1.5	405	0.0743	
			399.6	1.5	360	0.0657	
					1.8	332.5	0.0606
		R1=R3=R4=5, R2=2.5	399.6	1.5	380	0.0683	
		R1=R3=2.5, R2=3.5, R4=5	399.6	1.5	597.5	0.140	
	R1=R3=5, R2=3.5, R4=2.5	399.6	1.5	402.5	0.0728		
	$\theta = 30^\circ$	R1=R3=R4=5, R2=3.5	499.5	1.5	462.5	0.0804	
			399.6	1.5	410	0.0735	
					1.8	370	0.0684
		R1=R3=R4=5, R2=2.5	399.6	1.5	435	0.079	
		R1=R3=2.5, R2=3.5, R4=5	399.6	1.5	625	0.148	
	R1=R3=5, R2=3.5, R4=2.5	399.6	1.5	450	0.082		
	$\theta = 40^\circ$	R1=R3=R4=5, R2=3.5	499.5	1.5	495	0.0915	
			399.6	1.5	457.5	0.0843	
					1.8	410	0.0746
		R1=R3=R4=5, R2=2.5	399.6	1.5	477.5	0.0864	
		R1=R3=2.5, R2=3.5, R4=5	399.6	1.5	657.5	0.159	
	R1=R3=5, R2=3.5, R4=2.5	399.6	1.5	492	0.089		
	$\theta = 50^\circ$	R1=R3=R4=5, R2=3.5	499.5	1.5	527.5	0.0998	
			399.6	1.5	482.5	0.0899	
					1.8	450	0.0843
		R1=R3=R4=5, R2=2.5	399.6	1.5	496	0.0904	
		R1=R3=2.5, R2=3.5, R4=5	399.6	1.5	682.5	0.170	
	R1=R3=5, R2=3.5, R4=2.5	399.6	1.5	522	0.0921		
	$\theta = 60^\circ$	R1=R3=R4=5, R2=3.5	499.5	1.5	540	0.104	
			399.6	1.5	507	0.0967	
					1.8	485	0.0932
		R1=R3=R4=5, R2=2.5	399.6	1.5	517.5	0.099	
		R1=R3=2.5, R2=3.5, R4=5	399.6	1.5	710	0.175	
	R1=R3=5, R2=3.5, R4=2.5	399.6	1.5	552.5	0.1054		

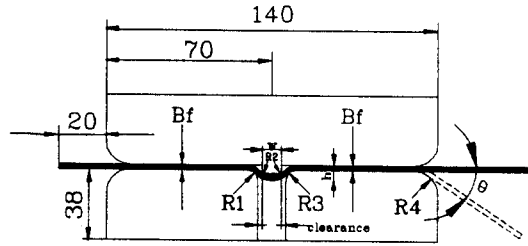


Fig. 1 Square drawbead set, specimen geometry

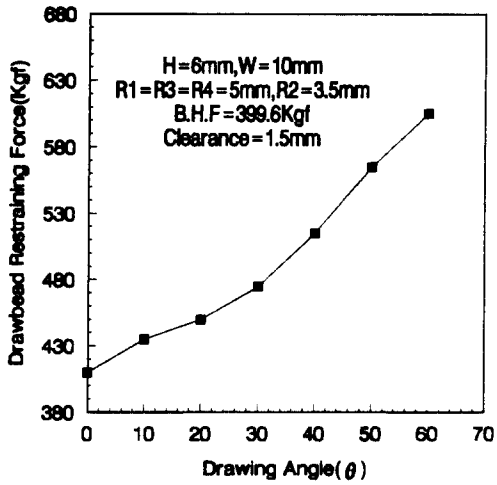


Fig. 2 Drawbead restraining force versus drawing angle

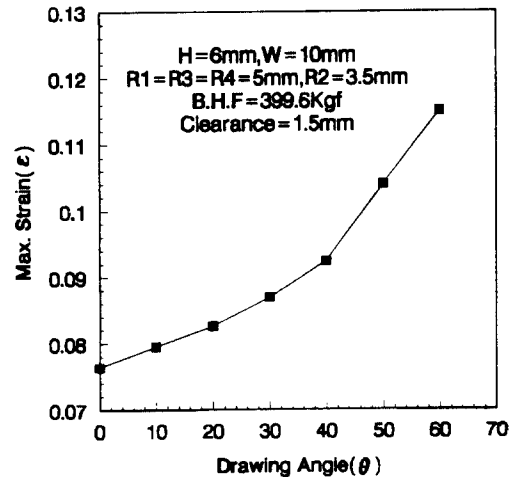


Fig. 3 Maximum strain versus drawing angle

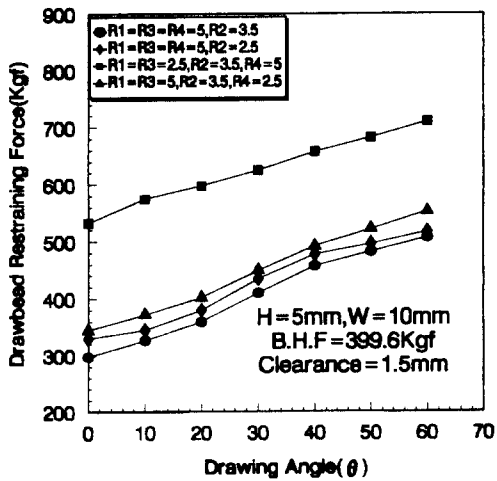


Fig. 4 Restraining force versus drawing angle for different R1(R3), R2 and R4

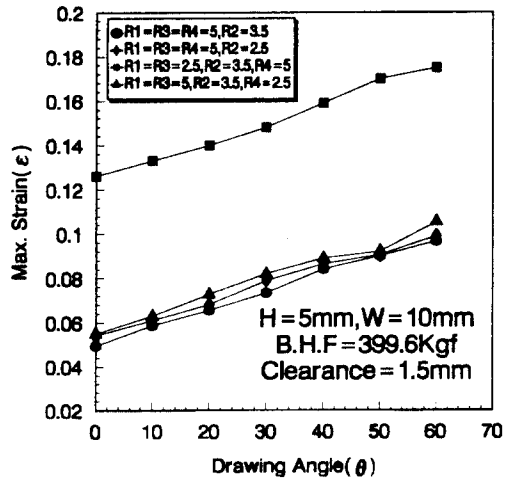


Fig. 5 Maximum strain versus drawing angle for different R1(R3), R2 and R4

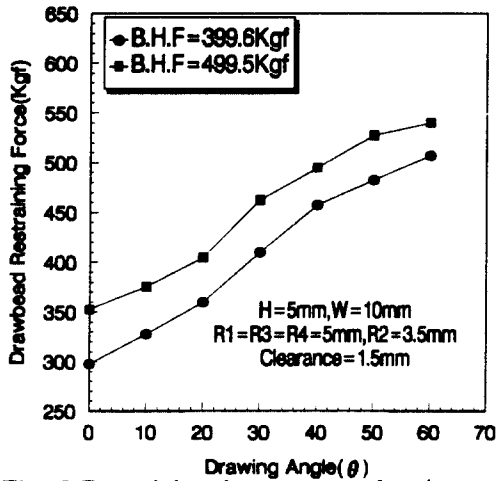


Fig. 6 Restraining force versus drawing angle for two blank holding forces

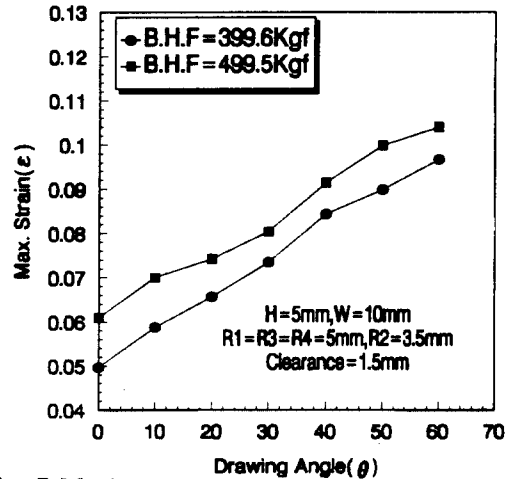


Fig. 7 Maximum strain versus drawing angle for two blank holding forces

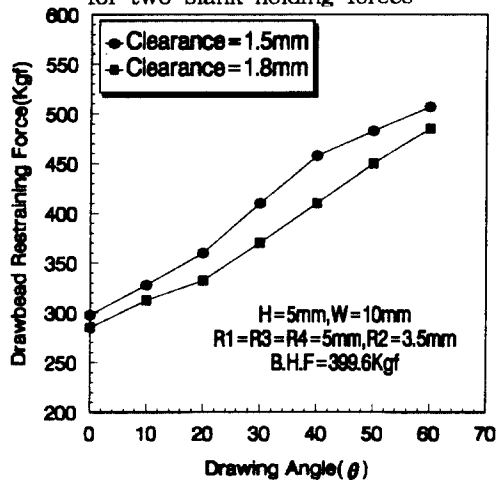


Fig. 8 Restraining force versus drawing angle for two clearances

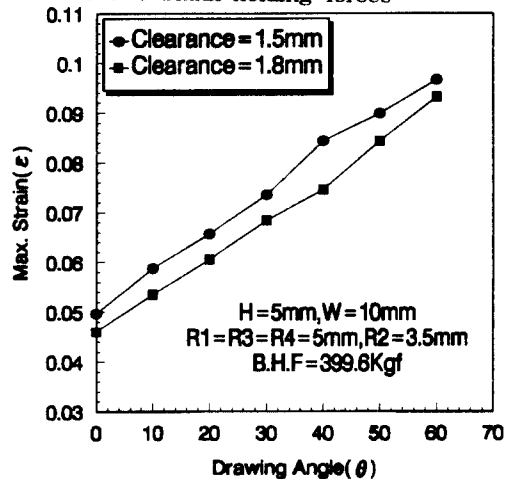


Fig. 9 Maximum strain versus drawing angle for two clearances

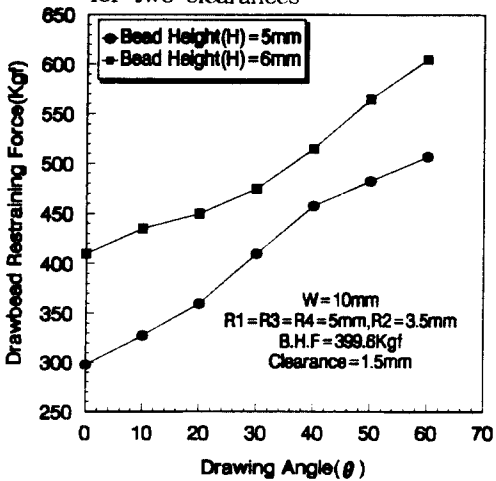


Fig. 10 Restraining force versus drawing angle for two bead heights

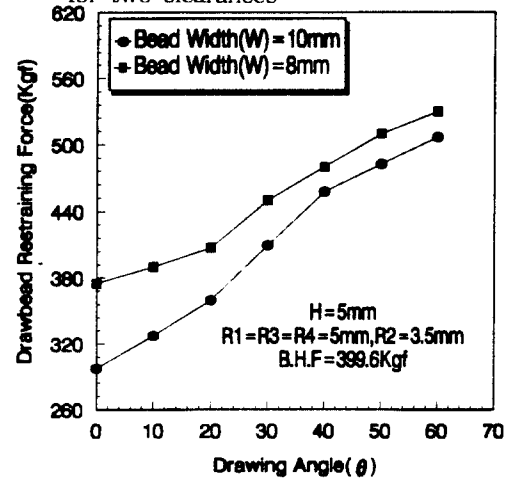


Fig. 11 Restraining force versus drawing angle for two bead widths