

스프링형 블랭크홀더방식의 디프드로잉 가공에서 다이 윤곽반경이 성형성에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of Die Profile Radius on Formability in Deep-Drawing Process with Spring-Type Blankholder System

이 종 국*, 강 명 순**
J. K. Lee , M. S. Kang

ABSTRACT

The major purpose of this paper is a study on the effect of die profile radius on the formability of spring-type blankholder system in deep drawing process. By drawing the various materials, formability is studied by means of checking the drawing force, blankholding force variation, limiting drawing ratio and wall wrinkling phenomenon.

As the die profile radius increases, the maximum drawing force and maximum blankholding force decrease regardless of lubrication condition. Because better lubrication induces blankholding force to rise, spring type blankholder system is better to protect flange wrinkling phenomenon than constant pressure type. And wall wrinkling phenomenon was not detected in experimental die radius range, so the Miyakawa's upper wrinkling limit is underestimated in case of material tested.

NOMENCLATURE

- D_0 : 블랭크의 초기지름
- d_d : 다이 내경
- t : 블랭크의 초기두께
- H : 블랭크홀더력
- R_d : 다이 윤곽반경
- C_s : 블랭크홀더의 강성(Stiffness)
- E : 볼트의 영계수(Young's Modulus)
- L : 볼트의 유효 잠김길이
- A : 볼트의 단면적
- $D.R$: 드로잉비(Drawing Ratio)
- P : 드로잉력
- S_w : 블랭크의 인장강도

D_p : 칩의 평균지름

1. 서론

근래 냉간가공의 급속한 발전과 함께 薄板 가공의 成形性(formability)에 대한 관심이 높아 지고 있다. 디프드로잉은 박판 프레스 가공의 대표적인 작업의 하나로 탄피성형, 자동차부품 및 기계부품 외형 작업등에서 흔히 볼 수 있는 가공방식으로 다른 가공보다는 素材板 자체의 異方性(anisotropy)이 여러 가지 현상을 나타내며 재료특성, 공구형상, 윤활조건, 가공속도 등의 복잡한 영향을 받게 되어 조건이 많은 경우를 간단히 취급하기는 불가능하다.⁽¹⁾

* 정회원, 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

** 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

일반적으로 디프드로잉 가공의 성형성을 향상시키기 위해서는 소재관 자체의 우수한 드로잉성(drawability)이 요구되며 공정조건으로는 다이 윤곽반경(die profile radius)을 적절히 크게 함으로써 굽힘저항을 감소시키고, 다이와 소재관 사이의 윤활조건의 향상을 통하여 성형하중을 극소화 하며, 펀치부에서의 마찰저항의 증가 및 적절한 펀치윤곽반경(punch profile radius)을 선택함으로써 파단하중을 증가시켜야 하는 것으로 알려져 있다.

종전부터 다이 윤곽반경의 크기 및 형상에 관한 연구가 많이 진행되어와서, 형상에 있어서는 주름발생을 억제하기 위해 원추다이 및 타원다이 등에 대한 개발이 있는 후로, May⁽²⁾는 블랭크홀더를 사용하지 않는 경우 한 계드로잉비를 향상시킬 수 있는 최적의 다이형상을 Tractrix Die로 지적하였다. 그러나 가공상 어려운 점이 따르고 프레스 행정이 길어지는 결함등이 여전히 존재한다.

일반형 다이인 경우 다이 윤곽반경의 크기는 드로잉파단에 대한 하한한계와 블랭크홀더를 빨리 이탈함으로써 생기는 벽부주름현상(wall wrinkling)의 상한한계로 나누어지게 되는 데, 宮川⁽³⁾은 원추다이에서의 좌굴한계를 이론적으로 구함으로써 실험과 비교하여 좋은 결과를 얻어 이를 바탕으로 다이 윤곽반경부를 원추로 근사화하여 다이 윤곽반경의 상한한계를 산정하였고, 이를 드로잉 다이설계의 지침⁽⁴⁾으로 제시하였으며, 阿部 英夫⁽⁵⁾는 宮川과 같이 에너지법을 적용하여 플랜지 주름 및 벽부주름현상에 미치는 재료특성에 대하여 이론적으로 밝혔으며, 이밖에도 다이 윤곽반경의 크기 선정에 관하여서는 Fukui 및 기타의 실험식⁽⁶⁾등을 찾아 볼 수 있다.

한편 플랜지주름현상 방지를 위해서는 블랭크홀더 시스템이 필요한 데, 스프링형(spring type)인 경우에 대해서는 定壓式과는 가공특성이 달라지게 되며 홀더의 剛性(stiffness)에 관계하는 초기 블랭크홀더력(initial blankholding force)의 선정에 대한 자료가 미약하고, 성형공정 변수등에 대한 충분한 검토

가 이루어져 있지 않다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 스프링형 블랭크홀더 방식의 경우 다이 윤곽반경이 성형성에 미치는 영향에 대하여 연구하는 목적으로, 선정된 재료에 대하여 다이 윤곽반경의 크기가 드로잉력 및 블랭크홀더력에 미치는 영향에 대해 알아보고 벽주름현상에 대하여도 검토를 하였다.

2. 실 험

2.1 시험편 및 인장시험

본 실험에 사용한 시험편 재료는 성형성이 좋은 냉간압연된 강판, 알루미늄판(Al-1050), 구리판 및 황동판으로 모두 두께는 0.5mm이고 강판의 경우는 열처리하지 않았고, 구리판 황동판은 전기로(Lindberg Inc. Model 59545-01)에서 600℃에서 2시간, 알루미늄의 경우는 350℃에서 1시간 유지시킨 후 노냉하여 잔류응력을 제거하며, 연신율을 향상시키는 어닐링 처리를 하였으며, 인장시험을 하기 위해 시험편을 판재의 압연방향에 대해 0°, 45°, 90°의 각도에서 채취하였다. 시험편은 ASTM E 517-74 규격에 의하여 표점거리 25mm로 하였고, 인장시험은 U. T. M. (DCS-10T Shimadzu, Autograph)에서 크로스헤드를 속도 1mm/min로 일정하게 유지하면서 실시하였으며, Lankford 값은 20% 스트레인에서 인장시험을 중단하고 공구 현미경(Mituzotoyo M. F. G. Co. BI-5)으로 표점거리 부분의 길이와 폭을 측정함으로써 산정하였다.

표 1은 각 재료의 압연방향에 따른 시험편의 인장시험후 최소자승법에 의해 계산된 가공경화지수 및 소성계수를 나타내며, 표 2는 각 재료의 Lankford 값을 나타낸다.

2.2 디프드로잉 실험

(1) 실험장치의 개요도

그림 1은 디프드로잉 가공시, 펀치력과 블랭크홀더력을 측정하기 위한 실험 장치의 개략도이다. 여기서 블랭크홀더력은 3개의 불

Table 1 Stress-strain relation of sheet metal (kg/mm²)

R.D.		0°	45°	90°	MEAN
STEEL	K	59.9811	53.2118	53.3125	54.9293
	n	0.2229	0.2228	0.2250	0.2234
	U.T.S	33.5111	33.4873	33.4799	33.4910
COPPER	K	44.1702	40.5862	45.1974	43.6338
	n	0.3972	0.4008	0.4081	0.4018
	U.T.S	20.7838	20.7391	20.5900	20.7129
ALUMINUM	K	15.2387	11.7121	12.7367	12.8503
	n	0.2686	0.2470	0.2505	0.2530
	U.T.S	8.2610	6.9005	7.5902	7.4130
BRASS	K	66.7825	66.1286	67.6277	66.6493
	n	0.4388	0.4693	0.4544	0.4575
	U.T.S	30.7662	29.6027	30.2232	30.0487

K : plastic modulus n : work-hardening coefficient ($\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n$)
 U.T.S.: ultimate tensile strength

Table 2 Lankford value of sheet metal (ASTME 517-74)

R.D.	0°	45°	90°	MEAN(\bar{R})	ΔR
STEEL	1.2243	1.4348	1.1175	1.3029	-0.2638
COPPER	0.8352	0.9104	0.9575	0.9034	-0.0410
ALUMINUM	0.5693	1.5353	0.6015	1.0603	-0.9499
BRASS	0.8459	0.9186	0.7877	0.8677	-0.1018

트의 체결력으로 주었으며, 이 힘은 블랭크홀더 로오드셀(load cell)로부터 감지되어 신호가 디지털 스트레인 인디케이터(Shinkoh PSD-702)를 통과하여 기록계(RIKADENKI R-10 Series 9 channel KOGYO Co.)에 동시에 기록되도록 하였다.

블랭크홀더의 강성은 3개의 볼트에 의하여 다음과 같이 주어지는 데, 블랭크홀더 및 다이는 담금질 처리하여 볼트에 비해 충분히 강성이 높은 것으로 가정하였다.

$$C_s = \frac{3EA}{L} = \frac{3 \times 21,350 \times 113.09}{140}$$

$$= 51.740 \text{ [kg/mm]}$$

(2) 다이 세트

디프드로잉용 다이 세트는 담금질한 후 연

삭하여 표면을 정밀 가공하였고, 블랭크홀더는 고주파열처리한 후 연삭가공을 실시하였다. 다이 내경은 31.3mm로 하고, 편치와 다이 사이의 간격은 판두께의 130%인 0.65mm가 되게 하여 다림질(ironing)현상이 일어나지 않게 하였다. 다이 윤곽반경의 크기는 일반적으로 10t 이상이 되면 드로잉력의 감소효과가 적어질 뿐 아니라 벽부 주름현상이 발생할 가능성이 많아 보통 실용적으로 $4t \leq R_d \leq 10t$ 가 권장치로 제안되어 있으며 드로잉 파단에 대한 다이 윤곽반경의 하한 기준인 Karzmarek의 실험식⁽⁴⁾

$$R_d = 0.8 \sqrt{(D_o - d_d)}$$

에 의거하여 본 실험에서는 3mm 이상으로 하였고 Fukui의 실험식

$$(4 \sim 6)t \leq R_d \leq (10 \sim 20)t$$

3, 4, 5, 6 mm로 하였다.

을 참조하여 $6t \leq R_d \leq 12t$ 로 선정하여

2.3 실험방법

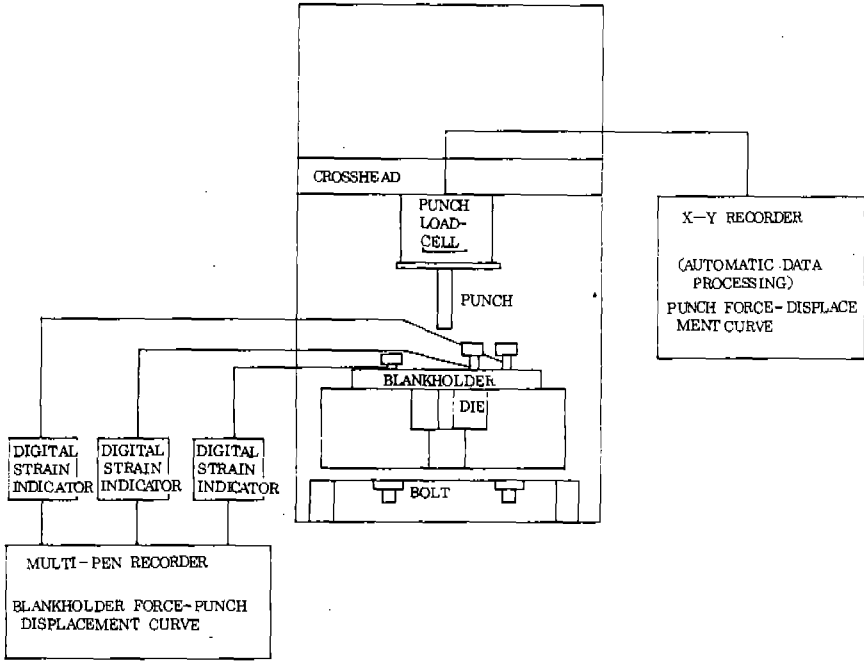


Fig. 1 Schematic diagram of deep drawing experimental system

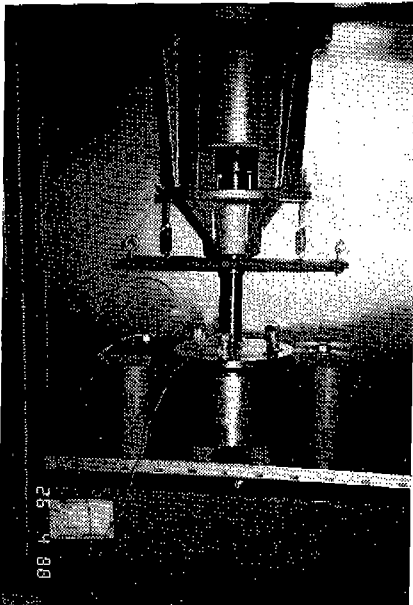


Fig. 2 Experimental setup of deep drawing punch and die

Table 3 Test conditions for deep drawing

Stiffness of Blank-Holder	51740 kg/mm
Punch diameter	30 mm
Punch profile radius	3 mm
Die throat diameter	31.3 mm
Die profile radius	3, 4, 5, 6 mm
Clearance	0.65 mm
Velocity of punch travel	10 mm/min
Experimental temperature	18 ~ 23 °C
Lubricants	P.T.F.E. (0.1mm)
	Grease
	Dry
Initial blankholding force	Steel 300 kg
	Brass 300 kg
	Copper 240 kg
	Aluminum 120 kg
	(D.R. = 1.9)

다이 세트를 U. T. M에 설치하여 펀치 속도를 10mm/min로 일정하게 유지 하였으며 초기 블랭크홀더력은 3개의 볼트의 체결력으로 주었는데 Sachs의 재질에 관계하는 평균면압 및 실험식 등으로 산정하였다. 시편은 각각 드로잉비(drawing ratio)가 1.9, 2.0, 2.1, 2.2가 되게 직경을 57, 60, 63, 66 mm로 가공하였으며, 무윤활인 경우와 윤활제로 grease 및 Teflon film을 사용한 경우에 대해 재질에 따라 다이 윤곽반경의 크기를 변화시키면서 실험을 하였고, 한계드로잉비를 결정하는 경우에는 직경을 0.3mm씩 변화시켜 드로잉비를 0.01 증분시키는 방식을 채택하였다.

그림 2는 펀치와 다이 세트에 의해 드로잉되는 사진을 보여 주고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3은 황동판의 경우 다이 윤곽반경을 변화시킬 때 드로잉행정에 따른 드로잉력의 그래프인데, 다이 윤곽반경이 커지면 최대 펀치력이 일어나는 행정시기가 늦어지며 드로잉력이 현저히 감소하는 경향을 보이고 있다. 그림 4는 드로잉비 1.9 강판의 경우 다이면 윤활조건에 따라 다이 윤곽반경의 영향을 나타내는 데, 윤활상태가 나빠질수록 최대 드로잉력에 미치는 영향이 커지고 있음을 보여주며 그림 5는 동일한 조건에서의 재질에 따른 실험치로서 역시 유사한 경향을 보이고 있다.

그림 6은 다이 윤곽반경을 변화시킬 때 드로잉 행정에 대한 블랭크홀더력의 변화를 나타내는 것으로서, 다이 윤곽반경이 커질수록 블랭크홀더력의 상승치는 작아지는 경향을 보이고 있는데 이는 블랭크홀더를 빨리 이탈함으로써 생기는 현상으로 생각되며 따라서 다이 윤곽반경이 커질수록 드로잉 파단에 대해 안전하다고 볼 수 있다.

그림 7, 그림 8은 초기 블랭크홀더력이 각각 300kg, 600kg로 주어질 때 블랭크홀더력의 변화를 나타내는데, 두 경우 모두 윤활상태가 좋아질수록 블랭크홀더력의 상승치가

커지는 경향을 보이고 있다. 이는 河合⁽⁷⁾의 연구결과에서 지적된 바와 같이 윤활이 좋아질수록 주름방지에 요구되는 블랭크홀더력이 커져야 하는 것을 나타내는 그림 9와 함께 생각해 볼 때 블랭크홀더의 강성이 0이고 일정한 힘만을 주는 정압형이 윤활조건에 따라 블랭크홀더력이 변화하지 않는 것에 비해 스프링형 블랭크홀더방식의 경우는 윤활 조건향상에 따라 블랭크홀더력의 상승이 일어나므로 윤활조건 변화에 따른 주름방지 효과에는 기여를 한다고 볼 수 있다.

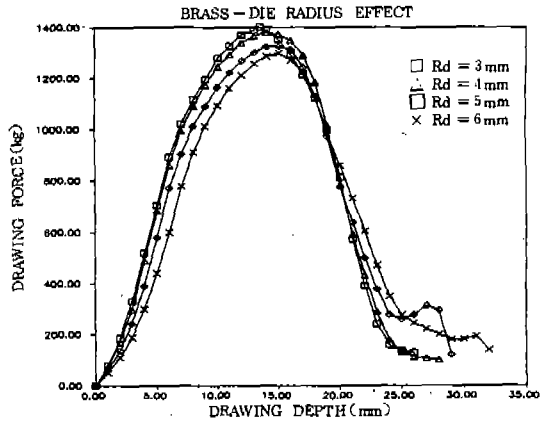


Fig. 3 Drawing force - drawing depth curve (Brass, Dry condition, D. R.=1.9, I. B. H. F. = 300 kg)

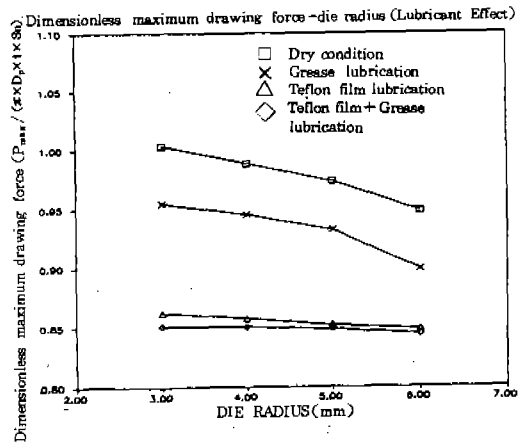


Fig. 4 Dimensionless maximum drawing force - Die radius curve with different lubrication (Steel, D. R.= 1.9, I. B. H. F=300 kg)

Dimensionless maximum drawing force-die radius (Material Effect)

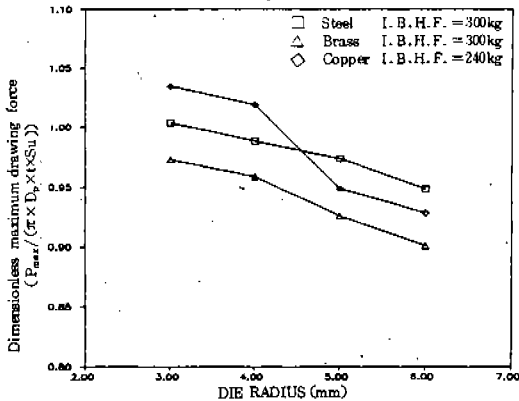


Fig. 5 Dimensionless maximum drawing force-Die radius curve with different material (Dry condition, D. R. = 1.9)

BLANKHOLDER FORCE VARIATION CURVE

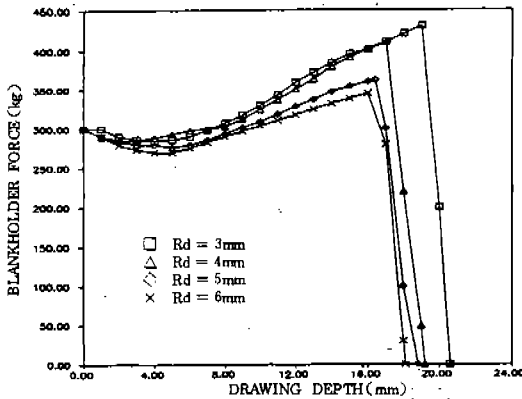


Fig. 6 Blankholding force-drawing depth curve (Steel, D. R. = 1.9, I. B. H. F. = 300 kg)

BRASS - I. B. H. F. = 300 kg (D. R. = 2.0)

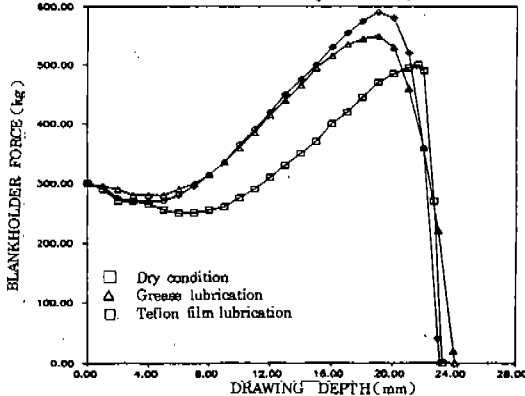


Fig. 7 Blankholding force-drawing depth curve with different lubrication (Brass, D. R. = 2.0, Rd = 3mm, I. B. H. F. = 300 kg)

BRASS - I. B. H. F. = 600 kg

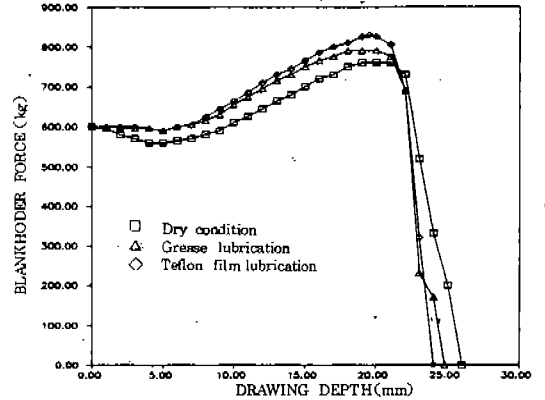


Fig. 8 Blankholding force-drawing depth curve with different lubrication (Brass, D. R. = 2.0, Rd = 3mm, I. B. H. F. = 600 kg)

REQUIRED BLANKHOLDER FORCE

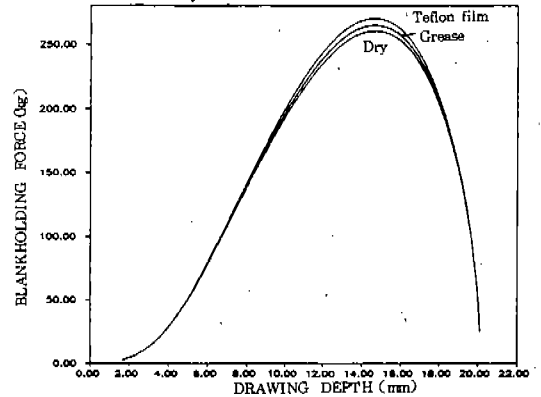


Fig. 9 Required blankholding force-drawing depth curve with different lubrication calculated from Kawai's formulae⁽⁷⁾ (Brass, D. R. = 2.0)

그리고 동일한 윤활조건하에서는 초기 블랭크홀더력이 작은 경우가 블랭크홀더력 상승이 더 크게 나타났으며 이는 초기 블랭크홀더력이 플랜지부 두께증분에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으므로, 금후 성형공정 조건에 따른 초기 블랭크홀더력의 최적화에 대한 연구가 이루어져야만 하리라고 생각된다.

그림 10은 윤활조건에 따라 다이 윤곽반경을 변화시킬 경우 최대 블랭크홀더력의 그림인데, 동일한 다이 윤곽반경하에서 윤활의 향상은 블랭크홀더력의 상승을 일으켜 주름방지에 기여를 하며 이때 최대 블랭크홀더력은 그림 4에서 지적된 바와 같이 감소하게 되므로

성형성 향상에 이바지하게 된다.

그림 11은 강판의 경우 한계드로잉비에 미치는 다이 윤곽반경 크기의 영향을 보여주는 데 실험 범위내에서는 다이 윤곽반경이 커질수록 점차적으로 한계드로잉비의 상승폭이 둔화되는 경향을 보이고 있으며, 윤활조건에 따라서도 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 그림 4와 함께 고찰하여 볼 때 Teflon film과 Grease로 다이면을 윤활하고 6mm 다이 윤곽반경을 사용하면 성형성이 아주 현저하게 좋아짐을 알 수 있었다.

그림 12는 드로잉 할 소재판 두께와 다이 윤곽반경의 하한 및 상한한계에 대한 기존의 실험식인데, 드로잉과단을 일으키는 Kazmarek의 하한한계와 벽부주름을 일으키는 富川의 상한한계 및 광범위하게 선정된 Aluminum 재료에 대해 얻은 Sachs의 상한 한계에 대한 실험식을 볼 수 있고, 동시에 본 실험의 조건을 제시하였다.

벽부주름 현상에 대한 富川의 기준은 본 실험조건에 따르면 과소 평가되고 있음을 알 수 있으며, 사용된 재료의 경우 한계드로잉비를 증가시키기 위해서는 다이 윤곽반경이 6mm가 적당하였고, 그림 12는 6mm 크기의 다이 윤곽반경에서 성형된 컵의 사진을 보여주고 있다.

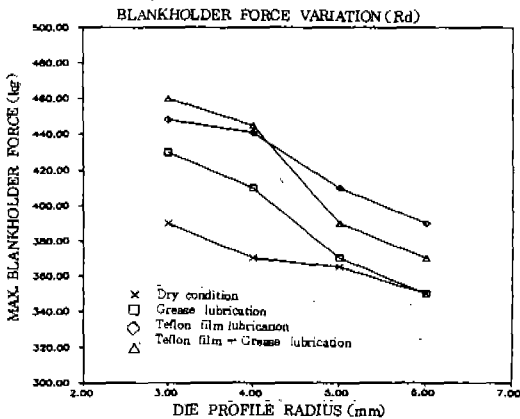


Fig. 10 Maximum blankholding force-Die radius curve with different lubrication (Steel, D.R. = 1.9, I. B. H. F. = 300 kg)

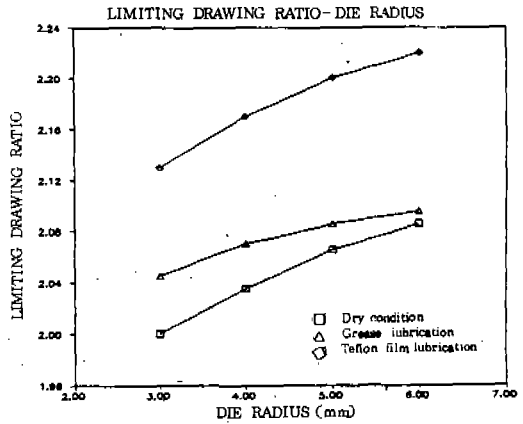


Fig. 11 Limiting drawing ratio-die radius chart with different lubrication (Steel, I. B. H. F = 300 kg)

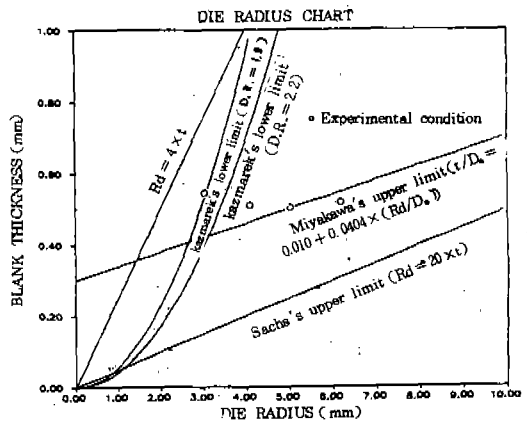


Fig. 12 Die radius chart showing the lower and upper limit of previous experimental formulae

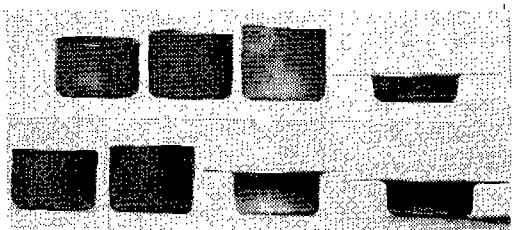


Fig. 13 Drawn cup with 6mm die radius

4. 결 론

스프링형 블랭크홀더방식의 디프드로잉가공

에서 다이 윤곽반경의 크기의 영향을 알아보기 위하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 윤활조건에 관계없이 실험한 다이윤곽반경 범위(6t ~ 12t)내에서는 다이윤곽반경이 커짐에 따라 최대 드로잉력 및 최대 블랭크홀더력이 저하한다.

(2) 스프링형 블랭크홀더 방식의 경우 윤활상태의 향상은 블랭크홀더력을 상승시키는 결과를 나타내고 있으므로, 윤활조건이 변할 수 있는 작업환경에서는 정압형 블랭크홀더방식보다 플랜지주름현상 방지에 대해 안전하다고 할 수 있다.

(3) 벽부주름현상에 대한 宮川の 상한한계식(4.95mm)은 본 실험재료의 경우 과소 평가되며, 다이 윤곽반경의 크기가 6mm인 경우도 주름현상에 대해 안전하다.

참 고 문 헌

1. 山田：深紋りの理論 日本機械學會論文集 67 卷 542 號 pp. 453/465. 昭和 39 年
2. May, O. : The Tractrix Curve, a Die with Helical Shoulder and the Ironing in Several Dies, Werkstattstechnik, 51, pp. 476/479. 1961.
3. 宮川 松男：深紋り 加工における しわの發生について(円すい ダイスの場合の理論, 實驗) 日本機械學會論文集 23 卷, 130 號, pp. 407/415, 昭和 32.
4. 宮川 松男：紋り型の基準諸元, 機械と工具 pp. 38/46, 昭和 34.
5. 阿部 英夫：薄鋼板の プレス成形における しわ發生におよぼす材料特性影響, 塑性と加工 Vol. 13. No. 143. pp. 949/959. 1972.
6. 橋本明：プレス紋り加工：日刊工業新聞社, pp. 31/34. 1975.
7. 河合望：深紋りの しわに関する 限界條件, 日本機械學會論文集, Vol. 26. No. 166. pp. 850/873, 昭和 35.