

# 極薄板のコニカルカップ試験

清野 次郎\*・町田 基\*\*

(昭和45年10月31日受理)

## 1 ま え が き

金属薄板の深絞り，張り出し性を比較，評価する方法には，前者に Swift カップテスト，福井式深絞り試験法が，後者にエリクセン試験，液圧バルジ試験等がある．また張り出しならびに深絞りが組み合わされた複合成形性試験法の一つとして，球底ポンチとコニカルダイスによるコニカルカップ試験がある<sup>1)</sup>．この試験法は，0.5~1.6mm 厚の板について J I S Z2249(1963年)としてすでに規格化されており，また I. D. D. R. G.<sup>2)</sup> の国際協力研究として 6ヶ国，12研究室に10種の同一試片を分配して試験した結果を総合し<sup>3)</sup>，上述のことがたしかめられている．

最近0.5mmより0.1mm程度までの各種極薄板金属に対する深絞り，および複合成形性の評価が電子部品，化学部品工業において要望されてきた．これにかんしては，軟銅およびアルミニウムの極薄板を用いたコニカルカップ試験と一部限界深絞り比について，著者らの一人を含めた報告がある<sup>4)</sup>．

本研究では，前述の材料に銅板を加えた三種類の極薄板材料にかんし，そのコニカルカップ試験および深絞り限界と試験工具との関係をまとめたので報告する．

## 2 試 験 方 法

試験に用いたコニカルダイおよびポンチの形状と寸法は，第1表のごとくである．0.5mm以上の板厚にかんするポンチとダイスの組合せと同様，0.5mm以下の本研究においても，各板厚に応じてポンチとダイス穴の寸法組合せを変えた．コニカルダイス面の頂角 $2\theta$ は，普通 $60^\circ$ であるが一部比較のため $40^\circ$ も製作した．一方ポンチ先端は，平面の平頭型 $f$ 群と半球型 $h$ 群の2種とし，半球状を容易にうるために球軸受用の上級ボールを用いたので外径はインチ寸法である．

第1表Aは従来の最小の型で，Eは0.5~0.4mm厚，Fは0.4~0.3mm，Gは0.3~0.2mm，Hは0.2~0.15mm，Iは0.15~0.10mm用として製作した．

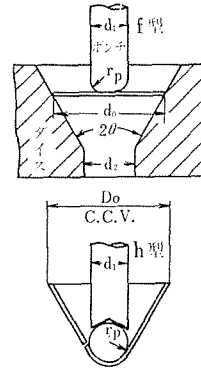
実験に用いた材料は，スキンパスをかけたままの軟銅板M. S.，焼なまし2S-AlおよびCuの各薄板で，それらの機械的性質と焼なまし条件は第2表に示す．ランクホード値“ $r$ ”と加工硬化指数“ $n$ ”は，いずれも圧延方向に採取した試片より求めた値である．試験に用いた潤滑剤は市販マシン油 井120で，円形薄板ブランクの製作はすべて切削によった．

\* 精密工学教室，助教授

\*\* 精密工学教室，技官

第1表 試作した極薄板用工具寸法

板厚 $t_0$ mm	呼称	ポンチ径 $d_1$ mm( $\frac{1}{n}$ )	$r_p$ mm	ダイス穴径 $d_2$ mm	ダイス頂角 $2\theta^\circ$
0.5	Af 6	12.70	2.5	14.60	60
	Af 6	(1/2)		"	60
0.5~0.4	Ef 4	9.52	2.0	10.98	40
	Ef 6	"	2.0	"	60
	Eh 4	(3/8)		"	40
	Eh 6	"		"	60
0.4~0.3	Ff 4	7.93	1.5	9.16	40
	Ff 6	"	1.5	"	60
	Fh 4	(5/16)		"	40
	Fh 6	"		"	60
0.3~0.2	Gf 4	6.35	1.0	7.23	40
	Gf 6	"	1.0	"	60
	Gh 4	(1/4)		"	40
	Gh 6	"		"	60
0.2~0.15	Hf 4	4.77	0.5	5.35	40
	Hf 6	"	0.5	"	60
	Hh 4	(3/16)		"	40
	Hh 6	"		"	60
0.15~0.1	If 4	3.18	0.5	3.52	40
	If 6	"	0.5	"	60
	Ih 4	(1/8)		"	40
	Ih 6	"		"	60



第2表 極薄板の機械的性質

材料	厚み $t_0$ mm	抗張力 $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	全伸び %	r 値	n 値	Hv	備考
M.S.	0.5	41.9	35.6	1.16	0.19	132	スキンパス 圧延後
	0.4	45.0	30.2	0.72	0.20	126	
	0.3	46.4	27.5	0.66	0.22	125	
	0.2	43.9	22.8	0.60	0.17	118	
Al	0.5	8.1	23.4	0.50	0.25	21.3	400°C 2hr
	0.4	8.0	16.6	0.48	0.28	22	
	0.3	7.9	37.5	1.07	0.27	22.5	
	0.2	6.3	16.3	0.54	0.30	20	
	0.1	9.2	12.6	0.64	0.40	23	
Cu	0.5	19.4	47.1	0.70	0.68	45	400°C 1hr
	0.4	24.1	36.6	0.59	0.24	62	
	0.3	20.3	37.9	0.59	0.26	57	
	0.2	19.5	39.0	0.59	0.48	54	
	0.1	17.4	36.1	0.62	0.63	53	

第3表 極薄板の C.C.V. 値

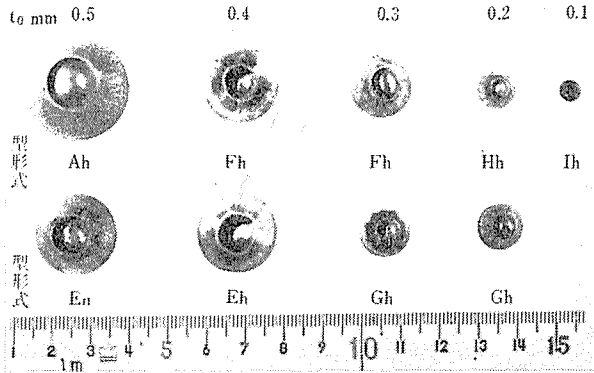
板厚 $t_0$ mm	工具型式	$d_0$ mm	絞り率 $\zeta = \frac{(d_1 + t_0)}{d_0}$	$D_0$ mm (C.C.V. 値)	外径変化率 $\eta_0 = D_0/d_0$	材 質
0.5	Ah 6	36.0	0.367	27.9	0.78	Al
	"	"	"	27.1	0.75	M.S.
	"	"	"	27.1	0.75	Cu
	Eh 6	27.0	0.371	20.9	0.78	Al
	"	"	"	20.4	0.75	M.S.
	"	"	"	20.4	0.75	Cu
0.4	Eh 6	27.0	0.368	21.6	0.80	Al
	"	"	"	20.7	0.77	M.S.
	"	"	"	20.9	0.77	Cu
	Fh 6	22.0	0.379	17.2	0.78	Al
	"	"	"	16.8	0.77	M.S.
	"	"	"	17.2	0.78	Cu
0.3	Fh 6	22.0	0.374	17.4	0.79	Al
	"	20.0	0.412	14.9	0.75	M.S.
	"	"	"	15.3	0.77	Cu
	Gh 6	18.0	0.369	14.2	0.79	Al
	"	"	"	14.0	0.78	M.S.
	"	"	"	13.7	0.76	Cu
0.2	Gh 6	15.8	0.414	12.0	0.76	Al
	"	15.0	0.435	11.7	0.78	M.S.
	"	16.0	0.408	11.6	0.73	Cu
	Hh 6	12.0	0.414	9.1	0.76	Al
	"	"	"	9.8	0.82	M.S.
	"	"	"	8.5	0.71	Cu
0.1	Ih 6	7.8	0.420	5.7	0.73	Cu

### 3 実験結果と考察

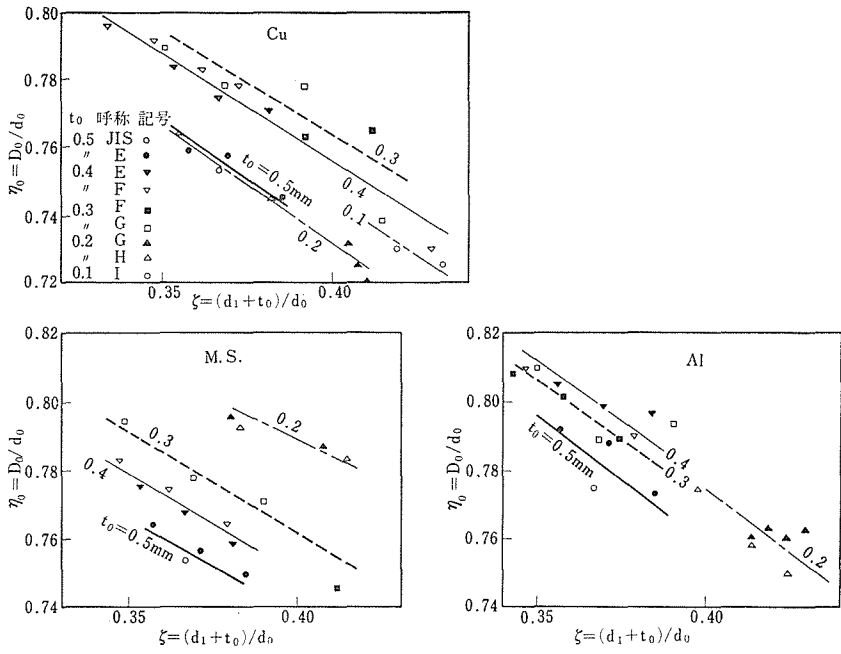
#### 3-1 コニカルカップ試験

前述の3種極薄板材料を用いたコニカルカップ試験を初めに行なった。第3表は、いわゆるC.C.V.値であって、当然底が破断するであろう大きな外径 $d_0$ の素板を半球ポンチ $h$ 群で加工し、破断後の外径 $D_0$ による絞り率 $\zeta = (d_1 + t_0)/d_0$ 、および外径変化率 $\eta_0 = D_0/d_0$ を求めて比較する方法の例である。各材料の素板直径は、コニカルカップ試験の可能な値のある範囲中、0.5mm厚以上のJ I S規格で決められている絞り率 $\zeta$ が0.37前後を選び同表に示した。この実験におけるダイス頂角は、すべて $60^\circ$ を用いた。第1図は、銅の極薄板材を用い、試作したコニカルカップ試験工具によって試験したカップを示す。

C.C.V.用素板直径 $d_0$ は、厚みによってそれぞれ異なると同時に、同一厚みでもコニカ



第1図 銅の極薄板によるコニカルカップ試験後のカップ



第2図 コニカルカップ試験にて得られた各種極薄板の外径変化率 $\eta_0$ と絞り率 $\zeta$ との関係

ルカップ試験工具寸法組合せによっても異なる。しかし、無次元化した絞り率 $\zeta$ にて示すとほぼ0.37前後が多くなり、薄い方では0.38~0.41付近となった。  $\zeta$ が増大したのは、板が非帯に薄くなると縮みフランジ部にしわが発生し易く、 $\zeta=0.38$  近辺に適当な深絞り一張り出し複合性を見出すことが困難となるためである。

第2図は、実験にて得られた外径変化率 $\eta_0$ と、絞り率 $\zeta$ との関係を各材料別に示す。同一板厚での工具組合せが異なったコニカルカップ試験において、 $\eta_0 \sim \zeta$  関係がほぼ直線関係となり、その直線の傾斜は同一材料内では異なることがわかった。これは、0.5 mm厚以上の板厚にかんする異なった工具組合せでの福井ら<sup>5)</sup>の報告と一致する。

3-2 深絞り限界

第4表 銅, 軟鋼, アルミニウムの限界深絞り比

板厚 $t_0$ mm	呼称	ポンチ径 $d_1$ mm	ダイス頂角 $2\theta^\circ$	限界深絞り比		
				銅	軟鋼	アルミニウム
0.5	Af 6	12.70	$60^\circ$	2.55	2.45	2.38
	Ef 6	9.49	$60^\circ$	2.35	2.39	2.21
	Ef 4	〃	$40^\circ$	2.53	2.50	2.42
0.4	Ef 6	9.49	$60^\circ$	2.35	2.11	2.26
	Ef 4	〃	$40^\circ$	2.47	2.22	2.39
	Ff 6	7.94	$60^\circ$	2.47	2.30	2.41
	Ff 4	〃	$40^\circ$	2.60	2.32	2.47
0.3	Ff 6	7.94	$60^\circ$	2.38	2.06	2.41
	Ff 4	〃	$40^\circ$	2.37	2.20	2.45
	Gf 6	6.34	$60^\circ$	2.45	2.39	2.33
	Gf 4	〃	$40^\circ$	2.52	2.45	2.47
0.2	Gf 6	6.34	$60^\circ$	2.38	1.87	2.37
	Gf 4	〃	$40^\circ$	2.50	2.01	2.33
	Hf 6	4.77	$60^\circ$	2.32	—	2.27
	Hf 4	〃	$40^\circ$	2.45	—	2.45
0.1	If 6	3.18	$60^\circ$	2.21	—	2.26
	If 4	〃	$40^\circ$	2.33	—	2.13

第1表に示す*f*型工具を用いて、軟鋼、銅、アルミニウム極薄板の深絞り加工を行なった。でき上りカップ上縁の谷の部分には、加工過程の最後にダイス穴に絞りこまれる段階にできたと思われる小さなしわが肉眼で認められる物もあったが、これらはしごき加工を行なえば消滅する程度であって、深絞り限界を求めるにはさしつかえないと判断できた。第4表は、このような基準によって各板厚に応じた限界深絞り比  $d_0/d_1$  を示す。同一板厚に対して、すなわち0.5mm厚にA(J I S)とE、0.4mm厚にEとF、0.3mm厚にFとG、0.2mm厚にGとH、0.1mm厚にIをそれぞれ用意したのは、しわができて困るときは小さい方の工具寸法を用いるためであったが、同表によるとこれら材料にかんしてはその必要があまりなさそうである。

実験に用いた極薄板材料によると、ダイス頂角  $2\theta$  が  $60^\circ$  と  $40^\circ$  間には、限界深絞り比に若干の差が認められ、やや  $40^\circ$  の方が限界深絞り比を向上するようである。その差はわずかであるため、0.5mm厚以上のダイス頂角  $60^\circ$  と同一にて試験してもさしつかえないと考えられる。

#### 4 結 論

薄板の成形性を調べるための直接試験法としてコニカルカップ試験があるが、これは0.5mm厚以上の板に対してその板厚に応じた素板直径と工具組合せが規程されている。本研究では、0.5mmから0.1mmまでの極薄板材に対し、それぞれの板厚に応じた工具寸

法をえらべばコニカルカップ試験が可能であることを軟鋼，アルミニウムおよび銅の材料に対して示した。

しかし，非常に薄い0.1 mmのアルミニウムのような軟質材のコニカルカップ試験では，剛性が少ないために素板の中心合せがうまくゆかず，試験が困難であった。

コニカルカップ試験用工具を用いた限界深絞り試験の結果，同一板厚で工具組合せが異なっても限界絞り比がほぼ同じであり，また，ダイス頂角 $60^\circ$ と $40^\circ$ 間には若干 $40^\circ$ ダイスを使用した方が絞り比向上がみられた。

本研究は千葉工業大学福井伸二教授の御懇切なる御指導によりました厚く御礼申し上げます。研究の一部は東京大学宇宙航空研究所にて行ない，そのさい御世話になりました河田幸三教授ならびに同研究室，実験に協力された樋爪潔，外山哲敬，佐伯博昭，山村供一，加藤亭，磯部広美の本学卒業生諸君に深く感謝致します。

試験用材料は川崎製鉄K. K.，住友軽金属K. K.，富士伸銅K. K.より提供をうけた厚く御礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 1) 福井伸二，吉田清太：日本機械学会誌，62-489 (1959)，126.
- 2) I. D. D. R. G. : International Deep Drawing Research Group.
- 3) G. Pomey : Rev. Métallurgie (1966-10)，823.
- 4) 福井伸二，清野次郎，高田信宏，清水 進：東大宇宙研報告，4-2 (1968)，203.
- 5) 福井伸二，吉田清太，阿部邦雄，尾崎康二：理化学研究所報告，38-5 (1962)，539.

### Summary

#### Conical Cup Test for Fine Sheet

Jiro SEINO and Motoi MACHIDA

(Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering)

The formability of fine sheets ranging from 0.5 mm to 0.1 mm has recently been discussed. So-called conical cup test, developed by Prof. S. Fukui, is also applicable to fine sheet under suitable dimensions of tools and such dimensions for fine sheets of Al, Cu and Mild Steel are shown. But the above-mentioned test is too difficult for fine and soft sheet, such as aluminum of 0.1 mm in thickness, because the centering of the circular blank in the die hole is difficult.

In the deep-drawing tests of fine sheets of Al, Cu and Mild Steel by means of the flat punch and conical die, the drawing limit for the conical die of 60 degrees is compared with that for 40 degrees. The result is that the drawing limit in the case of the conical die of 40 degrees is somewhat higher than that obtained for 60 degrees.