

스테인레스-알루미늄 클래드 강판재의 프레스 온간 성형 연구

류 호 연, 박 건 규, 김 종 호.

서울산업대학교 금형설계학과

A study on the press warm forming of stainless-aluminum clad sheet metals.

H.Y.Ryu, G.G.Park, J.H.Kim.

Seoul National University of Technology. Dept. of Die and Mould Design

ABSTRACT

The effect of press warm forming in cylindrical deep drawing of stainless-aluminum clad sheet metals are examined. The temperature of die and blank holder is varied from room temperature to 200°C, while the punch is kept cooled during test to increase the fracture strength of workpiece on the punch corner area. Test materials chosen for experiments are STS304-A1050-ST304, STS304-A1050-ST3430, STS304 and A1050 metals and teflon film as a lubricant is used on both sides of a workpiece. The limit drawing ratio as well as quality of drawn cups(distribution of thickness and hardness)are investigated and discussed.

Key Words : warm forming : 온간성형, cylindrical deep drawing: 원형용기 디프 드로잉, clad sheet metal : 클래드강판(금속적층복합판재), teflon film : 테프론 필름, limit drawing ratio : 한계드로잉비,

1. 서 론

최근까지 단일판재의 철강재료는 산업기기, 가전제품, 건자재, 자동차부품 등에 이르기까지 각광을 받아오고 있지만, 금속재료의 형상과 기술적인 특성상 단일판재로는 제품의 기능을 발휘하지 못하게 되어 서로 성질이 다른 2종이상의 단일판재를 적층 접합하여 각각의 장점을 서로 보강할 수 있게 하는 특성을 지니도록 단일 금속판재들끼리의 압연 및 압접 방법에 따라 2매판, 3매판으로 제작되어지고 있다. 이러한 금속의 적층복합판재를 클래드 판재(Clad Plate)라고 하고 강도보강, 열전도 확산 또는 부식방지를 위해 건축자재 및 주방용기로서 사용되어지고 있으며 차체 중량감소용으로도 주목되고 있다. 클래드 판재는 내식성, 내열성, 성형성 등에 뛰어난 성질을 갖는 재료¹⁾들이 생산되어지고 있으며 그 재료들의 성형법²⁾들이 연구되어지고 있다.

클래드 판재는 금속들끼리의 강도와 연신율 등이 각각 다른 판재로서 앞과 뒤, 조합방법 및 제품형상 등에 있어서 성형성은 크게 달라지므로 개개의 변형상태에 따라 성형성의 분석이 필요하게 되었고 Yoshida등³⁾은 구리와 금속이 적층 복합된 재료를 가지고 원형 드로잉 펀치와 반구형 펀치를 사용하여 한계드로잉비(LDR)에 의한 성형성을 실험과 수치해석에 의하여 비교 연구하였고, 近藤등⁴⁾은 알루미늄과 금속이 적층복합된 재료를 가지고 평면펀치와 반구형펀치를 사용하여 한계드로잉비를 구하였으며, Liu 등⁵⁾은 적층복합재료의 디프드로잉 성형에 대한 강소성 FEM 시뮬레이션 결과에 의하면 가공경화가 큰

재료를 적층시, 외측에 배열함으로서 드로잉성이 향상된다는 것이 발표되어 졌다. Kim등은 STS304 스테인레스⁶⁾ 및 알루미늄 판재⁷⁾를 이용하여 원형컵에서의 드로잉 성형성을 비교하기 위해서 상온과 상온에서 한계드로잉비(LDR)를 구하였으며 상온에서보다 온도가 증가할 수록 성형성이 향상됨을 실험결과 분석되었다. 이들에 대한 충분한 이론적, 실험적 고찰은, 즉 프레스의 작업조건과 금형설계 조건변화에 따라 크게 변화되기 때문에 본 연구에서는 알루미늄 판재를 중간층에 놓고 아래 위에서 스테인레스로 압연한 클래드 판재를 온도 의존성을 이용하여 원형컵을 드로잉 성형하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험재료 및 인장실험

주방용기에 사용되어지고 있는 클래드 판재로 열전도성이 우수한 STS304-A1050-ST304와, 강자성의 특성을 부여한 STS304-A1050-ST3430을 실험재료로 사용하였으며, Table 1에는 단일판재와 클래드 판재의 두께 및 상온에서 기계적 물성치를 나타내었다. Table 2는 이들 단일판재들의 화학성분을 나타내고 있다.

Table 1. Mechanical properties of test materials

Materials	t (mm)	T.S. (kgf/mm ²)	E. (%)	Y.S. (kgf/mm ²)	H(Hv) R.T.
		R.T.(°C)	R.T.(°C)	R.T.(°C)	
STS 304	0.4	65.9	48.4	27.7	189
STS 430	0.4	47	36.2	26.9	175.8
A1050-0	2.0	7	43	2.8	21.8
CLAD 304(inner)	0.39	33.1	58.7	15	228.6
Al	1.23				44.1
304(outer)	0.39				232.3
CLAD 304(inner)	0.39	27.2	44.6	16.9	229.4
Al	1.32				46.4
430(outer)	0.39				192.2

Table 2. Chemical composition of test materials

Materials	Chemical composition (wt(%))											
	Si	Fe	Cu	Mn	P	S	N	Ti	C	Cr	Ni	NB
A1050-O	0.124	0.235	0.002	0.003	-	-	-	0.12	-	-	-	-
STS304	0.048	-	-	1.09	0.025	0.002	-	-	0.046	18.33	8.16	-
STS430	0.57	-	0.43	0.21	0.031	0.004	0.013	-	0.045	19.22	-	0.60

실험용 판재는 풀립 처리를 하지 않고, 압연방향에 따라 0°, 45°, 90° 방향으로 각각 인장 시편을 준비하여 상온에서 180°C까지 변화시키면서 인장시험을 하여 평균치를 구하였으며 이들에 대한 결과를 Fig. 1에 나타내고 있다.

클래드 판재로 사용되는 단일판재인 스테인레스 STS304 판재와 STS430 판재의 인장강도는 상온에서는 65.9kg/mm²와 47kg/mm²으로 클래드 판재의 33.1kg/mm²과 27.2kg/mm²보다 높은 인장강도 값을 가지고 있

으며, 알루미늄 A1050-O 판재의 인장강도 값은 7kg/mm²의 낮은 인장강도 값을 나타내고 있고 연신율은 단일판재보다 클래드 판재가 높게 나타나고 있고, 항복강도도 클래드 판재는 알루미늄판재와 스테인레스 판재의 중간영역 부분정도에 나타나고 있어 이러한 단일판재를 이용하여 클래드 판재로 만들어진 판재도 인장강도와 연신율은 성형가공 시 스테인레스 판재들의 영향을 많이 받을 것으로 판단되어지기 때문에 클래드 판재들의 온도변화에 따른 성형성의 실험이 필요함을 보였다.

2.2 드로잉금형 및 주변장치

원형컵을 제작하는 $\varnothing 40\text{mm}$ 의 단면을 갖는 온간금형으로 펀치코너반경은 R 10, 다이코너반경은 R 20으로 설계하여 펀치는 STD11 재료를, 다이와 블랭크홀더는 STD61을 재료로 제작하였다. 펀치부는 냉각을 위하여 펀치 내부를 인서트 방식의 순환로를 설계하였으며 냉각장치의 출구에서 온도가 -5°C 인 냉각수가 원활히 순환되도록 제작하였다. 다이와 블랭크홀더에는 용량 400W의 카트리지 히터를 8개씩 사용하였으며, 온도조절을 위하여 열전대를 각각 1개씩 부품내에 장입하고 TPR(Thyristor power regulator)방식에 의한 전력제어 방법으로 온도조절을 하도록 하였으며, 다이 표면의 온도편차는 10°C 미만으로 나타나 이 상태에서 실험을 진행하였다. Fig. 2는 본 연구에 사용되어진 온간드로잉 금형의 주요부분 조립단면도를 보여주고 있다.

2.3 실험

실험은 온간드로잉 금형을 램의 하강속도가 11.2mm/sec인 200톤 유압 프레스에 장착하고 틈새, 펀치 및 다이 코너 반경, 블랭크 홀딩력, 드로잉 속도 등은 일정하게 유지하고 펀치의 냉각유무, 다이와 블랭크홀더의 온도, 시편치수와 형상등을 변화시키면서 $\varnothing 75\text{mm}$ 에서부터 5mm씩 점진적으로 증가시키면서 드로잉 실험을 하였으며, 온도변화에 따른 한계드로잉비(LDR)를 상대 비교하였다. 온간작업에서의 윤활제로는 내열성과 윤활성이 양호한 테프론(Teflon)필름을 시편의 양면에 고르게 접착하여 사용하였다. 본 실험을 위한 금형부품의 설계치수가 Table 3에, 그리고 각각의 실험 조건이 Table 4에 주어져 있다.

Table 3. Size of die components in warm deep drawing

Parts	Material	Size(mm)	Rp(mm)	Rd(mm)	Rc(mm)	Clearance (mm)
Punch	STD 11	$\varnothing 40$	10	-	-	2
Die	STD 61	$\varnothing 48$	-	20	-	

Table 4. Experimental condition for circular cup drawing

Shape of product	Temp.($^{\circ}\text{C}$) (B.H. & Die)	Cooling of punch	Diameter of Blank(mm)	
Circular cup	R.T.	Cooled	$\varnothing 75$	
			$\varnothing 80$	
			$\varnothing 85$	
			$\varnothing 90$	
			$\varnothing 95$	
			$\varnothing 100$	
	60	No cooled	$\varnothing 105$	
			$\varnothing 110$	
			$\varnothing 115$	
			$\varnothing 120$	
			90	
			120	
150				
180				

3. 실험결과 및 고찰

3.1 성형온도와 한계드로잉비

본 실험에 사용한 온간금형의 펀치 표면 온도는 다이와 블랭크홀더를 가열하였을 때, 펀치 냉각 유무에 따라 측정된 것으로 펀치가 비 냉각일 경우엔 온도가 높아지는 것을 알 수 있고, 펀치를 냉각하였다 라도 다이가 180℃일 때 펀치 표면은 약 12℃가 되는 것으로 나타났으며 Table 5는 금형의 온도조건을 나타내고 있다.

Table 5. Temperature of punch surface measured for given forming temperature

Temp. of die & blank holder		R.T.	60	90	120	150	180
Punch	Cooled	8.9	9.1	10.6	11.4	11.7	12.4
	No Cooled	R.T.	28.6	58.4	76.3	94.2	117.5

(unit : ℃)

Fig. 3은 금속 적층판재 및 알루미늄 판재의 온간 성형작업 시 한계 드로잉 비를 비교한 것이다.

A1050-O 판재와 STS304-A1050-ST304 판재는 150℃에서 한계 드로잉비가 좋아져서 A1050-O 판재는 2.38, STS304-A1050-ST304는 2.5로 성형되어 온간 드로잉성의 적용가능성을 보였다. STS304-A1050-ST304 판재는 온도가 상승함에도 드로잉비의 향상을 제대로 보이지 못하고 2.38에 머무르고 있다.

원인으로는 연신율이 STS304보다 작고, 제품의 외측 부위의 판재인 STS430은 온도가 상승함에 따라 다이 속으로 이끌려 들어갈 때 온도에 대한 의존성이 작기 때문에 펀치코너부에서 파단을 빠르게 진행시키고 있는 것 같다.

온도가 상승되어 드로잉비를 높이게 되면 파단이 펀치의 코너 반경부에서 일어나게 되는데 이것은 미처 재료를 펀치가 다이 속으로 끌고 들어가지 못하면서 파단이 일어나게 되는 것으로서 재료에 문제가 있는 것으로 판단된다.

3.2 블랭크 홀딩력 변화에 따른 가공영역

Fig. 4는 클래드 판재의 성형 가능범위를 나타낸 것으로 드로잉 하중을 10톤으로 하였을 때 STS304-A1050-ST304 판재는 상온에서 2.25의 한계 드로잉비를 가지는 시편이 블랭크 홀더력이 3톤 정도에서 성형이 이루어졌고, 한계 드로잉비가 2.375에서는 파단을 보였다. 온간성형에서는 한계드로잉비가 2.625에서 파단이 되었다. STS304-A1050-ST304 판재는 STS304-A1050-ST304 판재보다 드로잉 성형성 가능영역범위가 적게 나타나고 있으며 블랭크 홀더력을 3톤 이하로 적게 하였을 경우에는 플랜지 부위에 주름이 발생되었으며 블랭크 홀더력을 크게 하면 펀치 코너부에서 파단이 발생되었다.

3.3 성형제품의 치수정도

Fig. 5는 클래드 판재 및 알루미늄 판재의 원형컵 제품의 외경치수를 펀치코너 R부위와 측벽부, 다이 코너 R부위를 측정하여 각 성형온도대별로 평균을 취한 값을 나타낸 것이다.

펀치 R부위에서는 클래드 및 알루미늄 제품 모두 펀치경과 시편의 두께를 합친 치수에 성형되어지고 있으며 온도가 상승함에 따라 더욱 근접되고 있다. 용기의 중간 부분인 벽 부위와 다이코너 R부위의 치수는 금형의 틈새가 시편두께의 2배이므로 다이코너 반경부의 영향을 많이 받는 것 같다. 플랜지부의 소재들은 펀치가 하강함에 따라 다이 속으로 끌려들어 오게되고 블랭크 홀더력에 의해 컵을 성형하는데

생기는 각 부분에서의 힘들은 다이코너 반경부에 집중적으로 걸리게 되면서 틈새에 의해 컵의 밑면보다 윗 부분이 크게 성형되어진다.

3.4 성형제품의 두께분포 및 경도변화

Fig 6(a)(b)는 상온과 온간드로잉 성형 후 STS304-A1050-ST304 클래드 제품의 두께변화를 나타내고 있다. 편치코너 반경부에서의 제품의 두께는 상온과 150℃에서 모두 얇아졌으며 벽부위와 플랜지부위로 올라갈수록 두께가 두꺼워 짐을 알 수 있다. 편치코너 반경부에서의 두께변화는 스테인레스 소재보다 알루미늄의 소재에서 크게 얇아졌으며 스테인레스의 두께변화는 상온과 온간에서 거의 변화가 없지만 플랜지 부위는 두꺼워지고 있다. 전체적으로 클래드 제품의 두께를 살펴보면 중간층의 알루미늄 소재의 두께 변화 폭이 크게 변화하였다.

Fig 7(a)(b)는 상온과 온간드로잉 성형 에서 STS304-A1050-ST304 클래드 판재로 성형된 컵의 단면에 대한 경도분포도를 나타내고 있다. 컵의 편치코너 반경부에서 경도 값은 최고치로 나타나고 있고, 용기의 벽 부위에서는 다이코너 반경과 틈새가 큰 관계로 경도 값은 낮아지고 있으며 플랜지부의 재료로 갈수록 압축응력에 의해 경도 값이 커지고 있다.

상온과 온간에서의 컵의 두께변화 및 경도변화를 비교하면 온간에서의 드로잉비가 크지만 제품의 두께 차이도 작게 나타났고, 경도의 변화도 상온의 제품과 크게 차이가 나지를 않아 클래드 판재도 온간성형 가공이 가능함을 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 클래드 판재의 디프 드로잉 성형성을 개선하기 위하여 원형컵 성형을 실험적 연구를 하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 온간성형에서 STS304-A1050-ST304 클래드 판재는 한계드로잉비가 2.5이고, STS304-A1050-ST304 클래드 판재는 2.38의 한계드로잉비를 얻어 온간성형에서는 STS304-A1050-ST304 클래드 판재가 온간성형성이 좋게 나타났다.

(2) STS304-A1050-ST304 판재는 드로잉 하중을 10톤으로 하고 블랭크 홀더력이 3톤이면 상온에서는 2.25, 150℃에서는 2.625까지 한계드로잉비를 높일 수 있었다.

(3) 클래드 판재의 치수정도는 편치의 바닥부는 편치의 형상에, 용기의 벽 부위는 금형의 틈새에, 컵의 상부는 다이 코너반경에 영향을 받으며, 두께분포는 클래드 판재 내·외측의 소재들인 STS304, STS430에서는 변화가 거의 없으나 중간층 재료인 A1050-O 소재는 두께의 편차가 용기의 단면에서 크게 변화하였다.

(4) 경도는 편치코너 반경부에서 크게 증가하였으며, 틈새의 영향으로 벽 부위에서는 낮아지고 있고, 플랜지부에서는 압축하중에 의해 높아지고 있다.

(5) 온간 드로잉 성형에서는 한계드로잉비가 상온보다 좋게 나타났으며 컵 단면의 두께 및 경도도 안정을 이루고 있어 클래드 판재도 온간 드로잉 성형 효과가 기대 되었다.

후 기

본 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(97-001-E00622)에 의하여 연구되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 石尾雅昭, "冷間 壓接による金屬クラッド板の 製造法と 用途", 塑性と加工 (日本塑性加工學會誌) 第 32卷. 第 360號, (1991-1), pp. 27-33.

2. 臼田松男, 橋本浩二, "復層板材のプレス成形性", 塑性と加工 (日本塑性加工學會誌) 第 38卷. 第432號, (1997-1), pp. 40-44.
3. F.Yoshida, K.Mori, M.Ohmori, T.Okada, "Deep Drawing of copper/steel sheet Metal laminate", Advanced Technology of plasticity, Proceeding of the 4th Int. Conference on Technology of Plasticity, Beijing, China, 1993. pp. 1657-1662
4. 近藤一義, 平岩正室, "金屬クラッド板のプレス成形における基礎的 思考方法", 塑性と加工 (日本塑性加工學會誌) 第 32 卷. 第 360號, (1997-1), pp. 13-19.
5. J.Liu, K.Yamaguchi, S.Imatani, N.Takakura, "Investigation on variation of Drawability of Laminated Seet Metals Using FEM Simulations". Advanced Technology of Plasticity 1996. 5th ICTP. Columbus, Ohio, U,S,A, pp. 699-702.
6. J.H.Kim, C.S.Choi, B.Y.Jeong and G.H.Lee, "Deep drawing of stainless steel in warm working condition using a single crank press", Advanced Technology of Plasticity, Proceeding of the 4th Int. Conference on Technology of Plasticity, Beijing, China, 1993. pp. 1691-1694.
7. 류호연, 배원택, 김종호, 김성민, 구분영, 금영탁, "알루미늄 합금박판 비등온 성형공정의 유한요소 해석 및 실험적 연구(제1부 실험)" 한국소성가공학회, 춘계학술대회논문집, 1998, pp. 53-57.

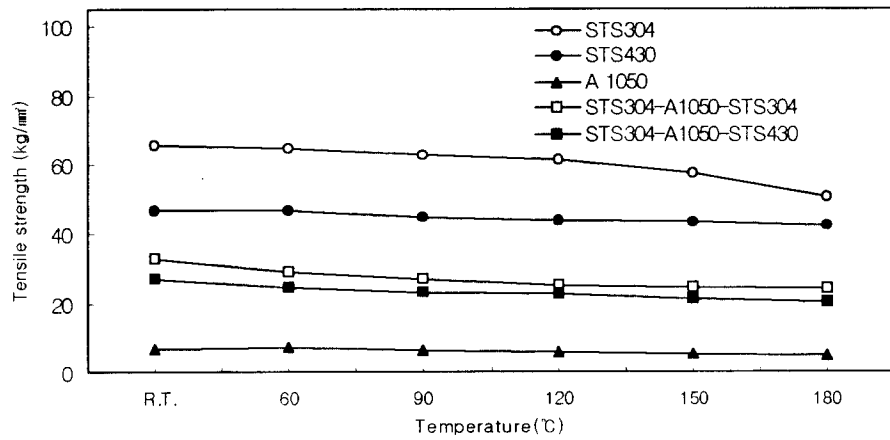


Fig. 1 Influence of temperature on tensile strength for test materials

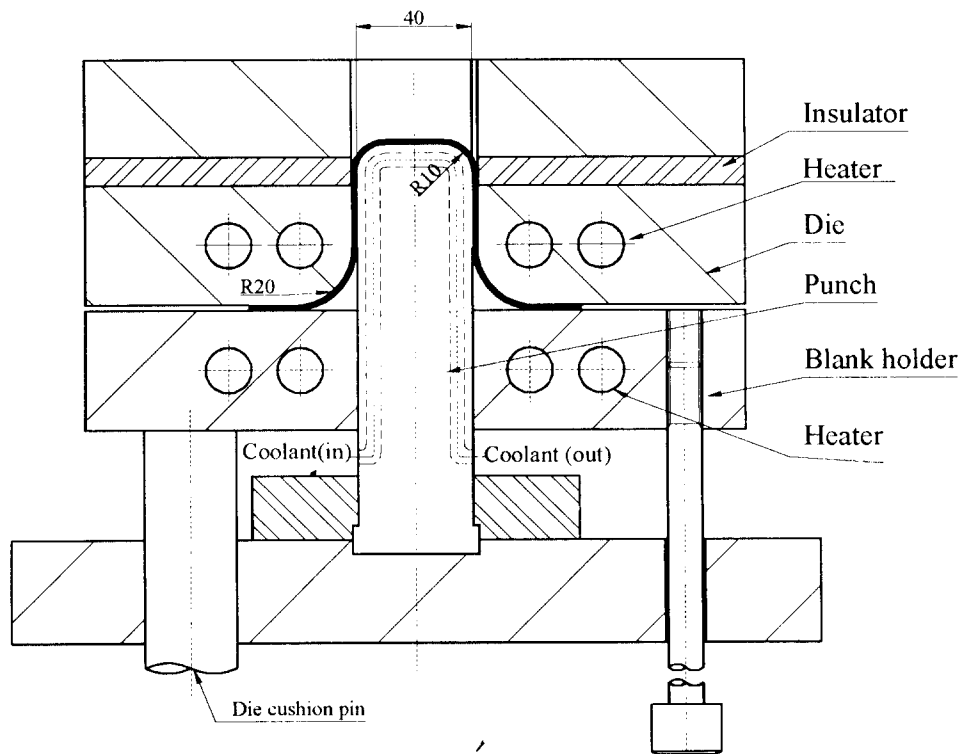


Fig.2 Schematic view of warm drawing die

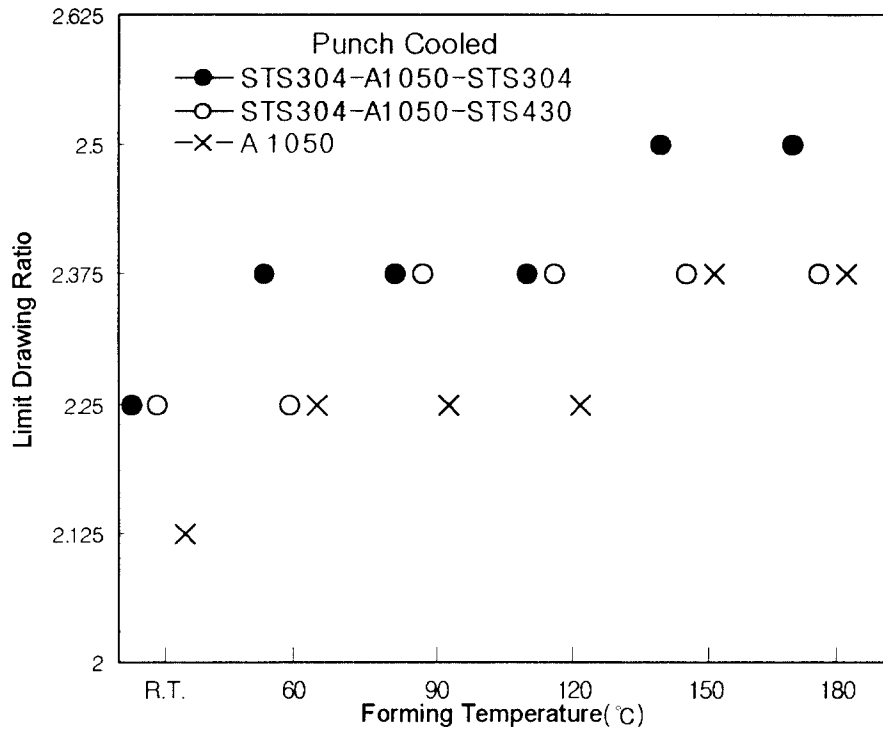
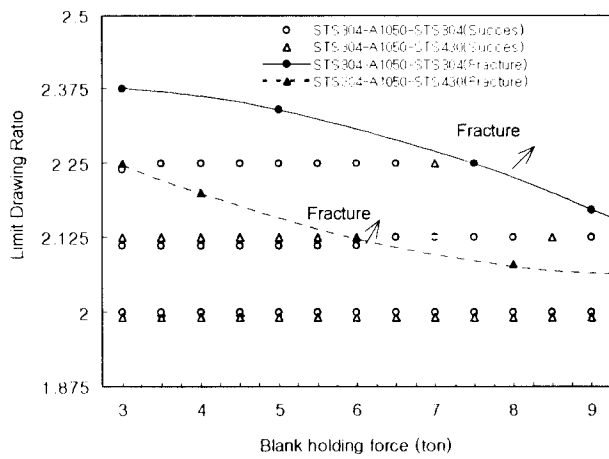
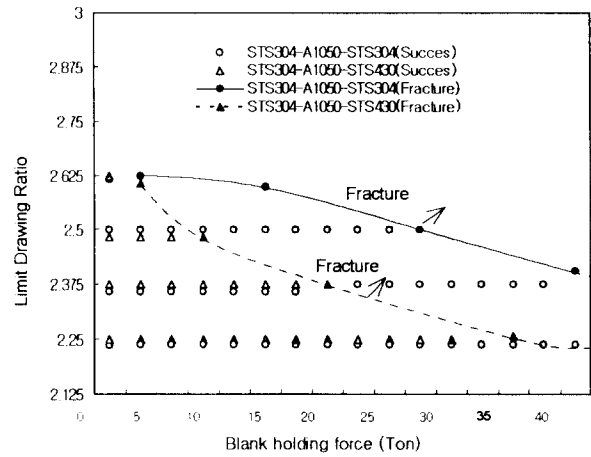


Fig. 3 Comparison of limit drawing ratio for three kinds of materials



(a) Conventional drawing (T=R.T.)



(b) Warm drawing (T=150°C)

Fig. 4 Forming ability follow blank force distribution limit curve for the change of blankholding force

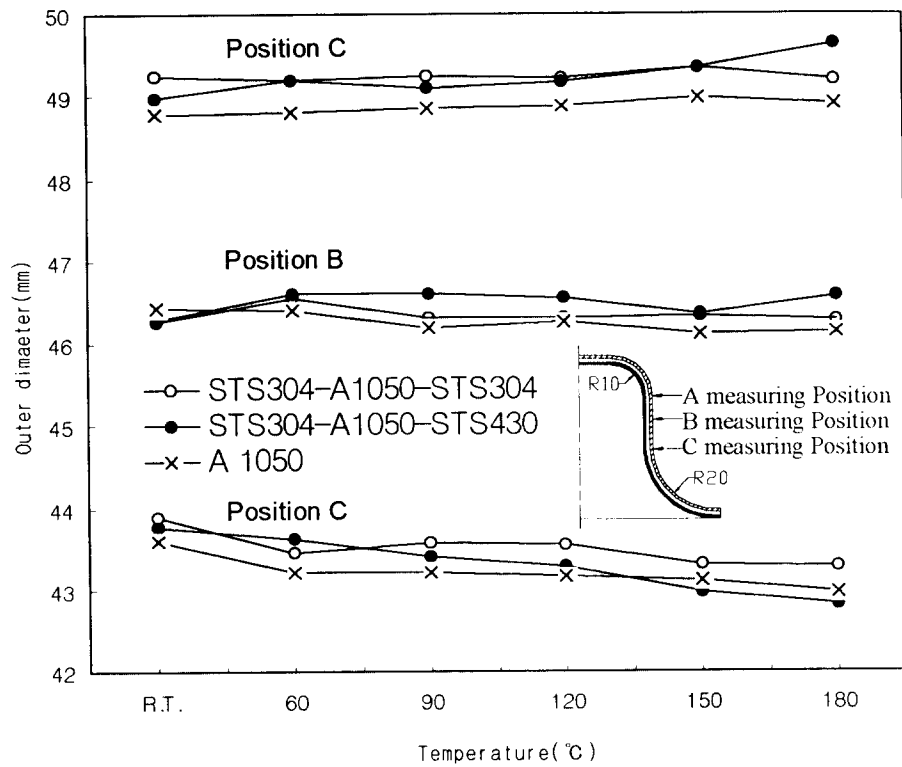
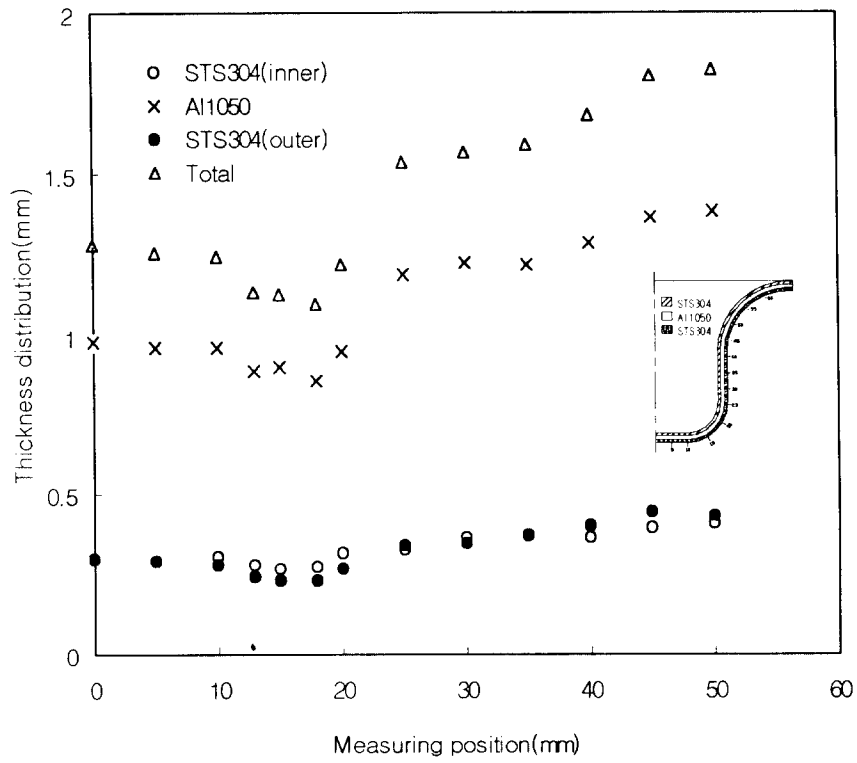
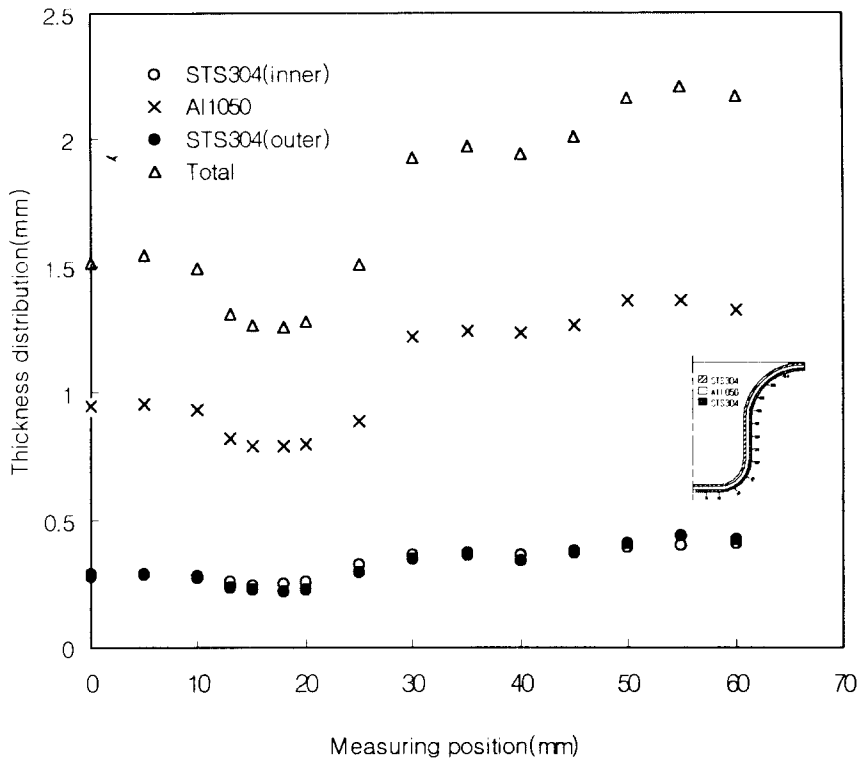


Fig. 5 Comparison of dimensional accuracy of drawn cups

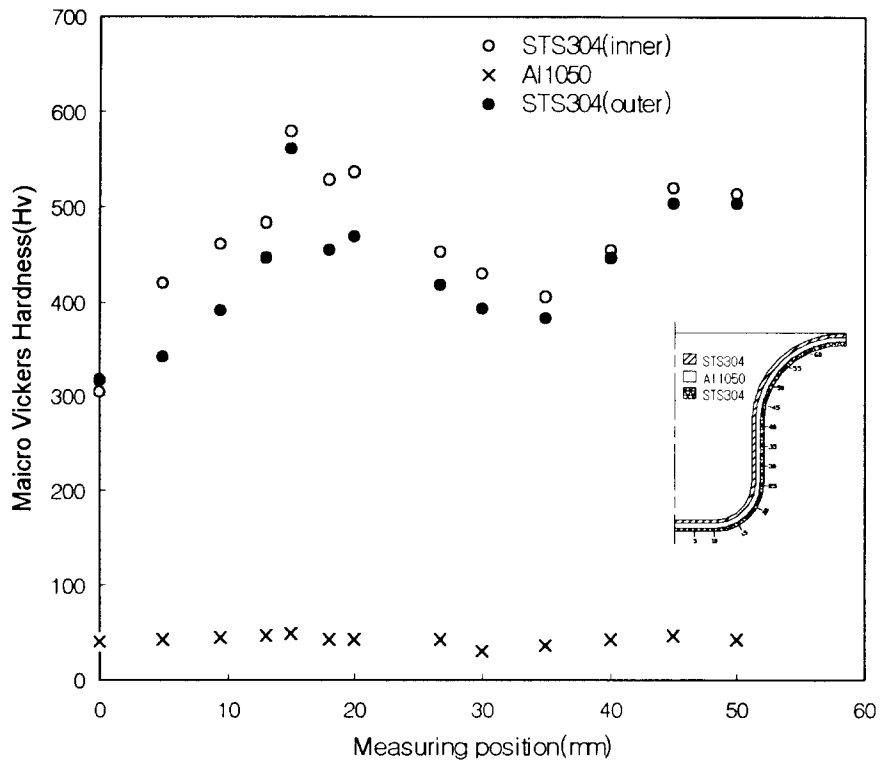


(a) Thickness distribution of a drawn at temperature (T=R.T.)

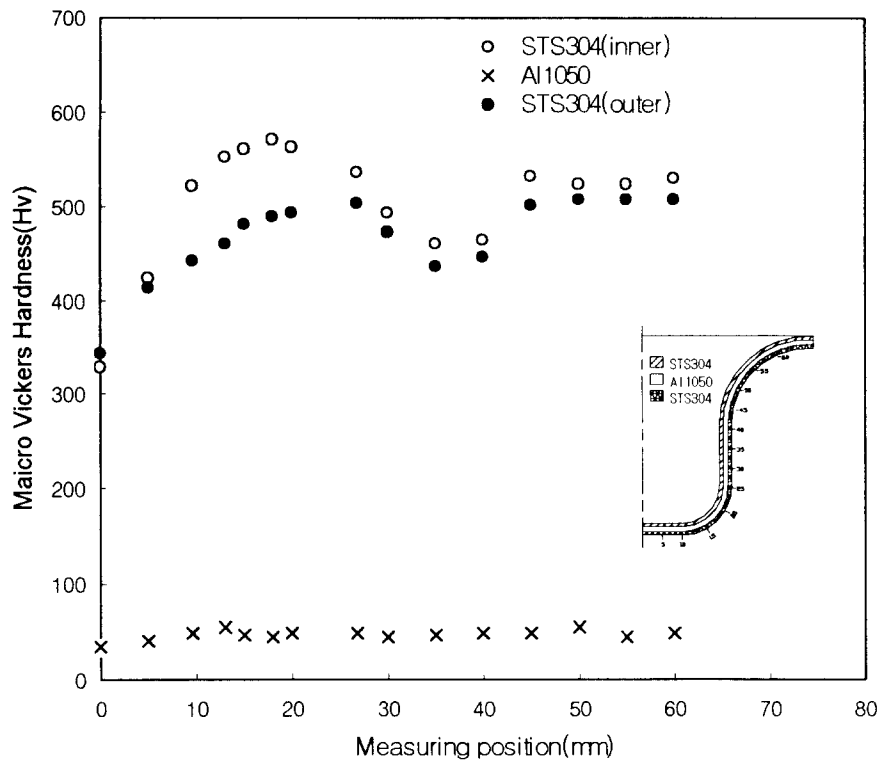


(b) Thickness distribution of a drawn at temperature (T=150°C)

Fig. 6 Thickness distribution of circular cup of clad materials



(a) Hardness distribution of drawn at room temperature



(b) Hardness distribution of drawn at 150°C

Fig. 7 Hardness distribution of circular cup of clad materials