

## 온간금형에 의한 클래드판재(STS304-A1050-ST304)의 드로잉성 연구

류호연\* 김종호\* 류제구\*

### A Study on the Drawability of Clad Sheet Metal (STS304-A1050-ST304) by Warm Draw Die

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

#### Abstract

Warm draw die technique which is one of the new forming technologies to improve formability of sheet metal is applied to the cylindrical and square cup drawing of stainless-aluminum clad sheets. In experiments the temperature of die and blank holder is varied from room temperature to 180°C, while the punch is cooled by circulation of coolant to increase the fracture strength of workpiece on the punch corner area. Test materials chosen for experiments are STS304-A1050-ST304 clad sheets. Teflon film as a lubricant is used on both sides of a workpiece. The limit drawing ratio and relative drawing depth as well as quality of drawn cups(distribution of thickness)are investigated and validity of warm drawing process is also discussed. No separation between each laminated material after drawing occurred through inspection by microscope as well as application of penetrant remover and bond strength test. Therefore, warm forming technique was confirmed to give better results in deep drawing of stainless clad sheet metal.

**Key Words** : Warm Forming, Clad Sheet Metal, Teflon Film, Limit Drawing Ratio, Relative Drawing Depth, Penetrant Remover, Bond Strength Test

#### 1. 서론

철강재료는 가전부품, 자동차부품 및 기타 공업제품의 주재료로 금속재료의 형상과 성능에 대한 기술적인 면으

로 강성과 인성을 풍부하게 얻을 수 있어 단일 금속재료로 많이 사용되어 왔다. 그러나 최근들어 기술적인 특성상 단일판재로는 원하는 제품의 기능을 충분히 만족시킬 수 없어, 서로 성질이 다른 2종 이상의

단일 판재를 적층 접합하여 각각의 장점과 특성을 서로 보강할 수 있는 방법이 모색되어 왔다. 이와 같은 목적을 위하여 단일금속 판재들끼리의 압연 및 압접 방법에 따라 2매판 또는 3매판으로 제작되어지고 있으며 이러한 판재를 클래드판재(clad plate)<sup>(1)</sup>라고 한다.

클래드 판재는 비철금속 계통을 모재로 하여 양면을 금속판재로 압연 또는 압접을 시키는 것으로 접합 경계면에서 산화물 및 금속간의 화합물에 의한 결합<sup>(2)</sup>이 없어야하고, 생산과정시 접합력은 압연압력<sup>(3)</sup>과 접합온도에 의하여 결정되며, 압연압력이 높고 온도가 높아짐에 따라 금속의 접합은 더욱 강하게 결합되어진다.

전기재료용 클래드 판재는 제품 강도의 보강, 열전도 확산, 부식방지와 수명향상, 원가절감과 품질향상 등을 위해 알루미늄-구리, 은-구리의 클래드 판재가 사용되며, 주방용기 및 가전제품에는 강도 보강 또는 열전도 확산, 부식방지를 위해 스테인리스-알루미늄, 철-알루미늄 등의 클래드 판재가 널리 사용되고 있다.

클래드 판재는 내식성, 내열성, 성형성 등에 뛰어난 성질을 갖는 재료<sup>(4)</sup>들로 생산되어지고 있으며 그 재료들의 성형법<sup>(5)</sup>들이 최근 연구되어지고 있다. 이들 판재는 서로의 강도와 연신율이 각각 다른 판재로서 판재 조합방법 및 제품형상 등에 따라 성형성이 크게 달라지므로 개개의 변형상태에 따른 성형성 분석이 요구되고 있다. 성형성에 관한 주요한 인자<sup>(6)</sup>로는 판 두께방향으로의 변형분포, 모재와 다른 재질과의 변형 강도차, 모재와 압접된 재질과의 접합강도로 서로 다른 재질들간의 복합적인 성형조건 등이 있다.

그리고 금형에 의한 성형가공으로 성형성을 증대시키기 위한 방안은 여러 가지가 시도되어지고 있다. 박판 금속의 디프 드로잉 가공은 통상 상온에서 실시하나, 변형중의 가공경화 특성으로 인하여 한번의 가공으로 불가능할 때에 금형의 일부를 가열 또는 냉각시키면서 금형 부품간의 온도차를 이용하는 온간 드로잉성형법<sup>(7)</sup>이 있다. 이 성형법은 온도가 상승함에 따라 재료의 항복강도가 감소되어 플랜지 부위에서의 소성변형을 촉진시키고 편치 코너부위에서는 소재를 냉각시킴으로서 재료의 파단강도를 높여 제품을 깊게 드로잉 할 수 있도록 고안한 방법이다.

吉田<sup>(8)</sup>은 스테인리스-알루미늄의 2매판 클래드

판재를 가지고 다이에 접촉되는 부위를 스테인리스인 경우와 알루미늄인 경우를 성형하여 두께와 성형하중의 변화를 실험적으로 연구하였으며, Nohara<sup>(9)</sup>등은 편치부위는 냉각, 다리와 블랭크홀더 부위는 가열하여 스테인리스-알루미늄 클래드 판재의 온간드로잉 가공으로 원형칩의 한계드로잉비, 두께변화, 경도분포 등의 조사를 통하여 클래드 판재의 성형성이 온도에 의존함을 제시하였다.

近藤<sup>(10)</sup>등은 알루미늄과 황동을 클래드 시킨 판재에 대해 평면편치와 반구형편치를 사용하여 원형칩 드로잉성과 제품의 두께변화를 조사하였다.

橋波<sup>(11)</sup>등은 대향액압 드로잉공정에 온간 성형법을 적용하여 스테인리스 강판의 각통 드로잉 성형에 미치는 영향을 실험적으로 연구한 결과 드로잉비가 상온보다 1.17배정도 증가됨을 보였다.

Shinagawa<sup>(12)</sup>등은 스테인리스 304강판을 온간 드로잉 가공으로 편치 속도와 성형온도를 변화시키면서 한계드로잉비를 향상시키는 실험을 하여 이론해석과 비교 분석하였다.

Kim<sup>(13)</sup>등은 STS304 스테인리스 이용하여 원형칩과 정사각용기의 드로잉성형을 온간과 상온에서 한계드로잉비를 비교분석하여 스테인리스 제품 성형에서의 최적 성형조건을 조사하였다.

Lee<sup>(14)</sup>등은 오일팬용으로 많이 사용되어지는 SCP1과 SCP3C 재료를 사용하여 5°C~150°C, 즉 실용적 범위의 상온에서부터 온간영역까지 인장시험을 통하여 성형한계도를 작성하여 온도에 따른 영향을 분석하였다.

본 연구에서는 주방용기의 고품위와 에너지 효율 향상을 위해 산업에 적용되고 있는 클래드 판재(STS304-A1050-ST304)를 온도의존성을 이용한 온간성형법에 의해 드로잉성을 향상시키기 위한 방안으로 시편의 치수와 성형온도를 변화시키면서 최적의 작업온도를 조사하여 한계드로잉비와 상대성형깊이비를 비교하여 제품의 두께와 박리시험 등을 통해, 클래드 판재의 최적 성형조건을 실험적으로 조사 분석하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료의 특성

본 실험에 사용한 소재로는 STS304-A1050-ST304 클래드 판재를 사용하였다. 이 판재는 내측에 0.4mm의 STS304 스테인리스 판재를, 외측에는 STS304

**Table 1 Thickness and hardness of test materials**

Materials	Thickness (mm)	Micro Vickers Hardness (Hv)	Erichsen value (mm)
STS 304	0.4	189	14.2
A1050	2.0	21.8	13.1
CLAD 304	0.39	228.6	13.1
A1050	1.22	44.1	
304	0.39	232.3	

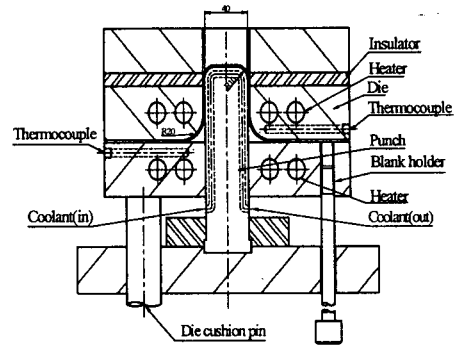
**Table 2 Mechanical properties of test materials in warm temperature**

Materials	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )		Elongation (%)		Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	
	R.T.	150	R.T.	150	R.T.	150
STS 304	65.9	57.7	48.7	32	27.7	23.1
A1050	7	5.2	43	68	2.8	3.9
CLAD304(inner)	33.1	24.6	58.7	43.2	15	15.1
A1050						
304(outer)						

스테인리스 판재를, 그리고 중간층에는 2.0mm의 알루미늄 판재(A1050-O)를 삽입하여 압연에 의한 압접으로 제작 된 것이다. 완성된 클래드 판재의 두께를 조사 해 본 즉, 스테인리스 판재는 0.39mm, 알루미늄 판재는 1.22mm로 대부분 강도가 낮은 알루미늄의 두께가 변형되면서(두께 변화율 39%) 클래드 판재가 제조되었다.

클래드 판재와 원소재에 대한 판두께 및 에릭슨 값과 경도 측정치를 Table 1에 상온과 온간 150°C에서의 온도변화에 따른 인장강도, 연신율, 항복강도가 Table 2에 주어져 있다. 재료의 강도는 제품의 성형시 가공정도를 나쁘게 하는데 클래드 판재의 마이크로비커스 경도값을 비교해 보면 원소재에서 클래드 판재로 제작되면서 경도변화율이 STS304는 경도변화율이 20.6%, STS430은 9.7%, A1050은 120%로 각각 가공경화가 진행되어 있기 때문에 상온에서의 낮은 성형성과 온간에서의 높은 성형성을 예측할 수 있다.

클래드 재료로 사용되는 스테인리스 STS304 판재의 인장강도는 상온에서 65.9kgf/mm<sup>2</sup>와, 알루미늄 A1050-O 판재는 7kgf/mm<sup>2</sup>의 강도를 보이고 있는



**Fig. 1 Schematic view of warm drawing die**

**Table 3 Size of drawing die components in warm deep drawing**

(unit : mm)

Shape	Parts	Material	Size	Rp	Rd	Rc	Clearance
Circular Cup	Punch	STD 11	∅40	10	-	-	4
	Die	STD 61	∅48		10	-	
Square Cup	Punch	STD 11	□40×40	10	-	10	4
	Die	STD 61	□48×48	-	10	14	

반면, 클래드 판재는 33.1kgf/mm<sup>2</sup>로서 단일재료의 물성치를 조합한 값을 나타내고 있다. 그러나 연신율은 단일판재보다 클래드 판재가 상온에서 높게 나타났다. 스테인리스 판재의 경우 상온보다 150°C에서 인장강도는 STS304가 12.4%, 연신율은 33.9%로 각각 감소하였으며, 알루미늄 A1050-O 판재의 경우엔 인장강도가 25.7%로 감소했으나, 연신율은 58.1%정도로 크게 증가하여 온간에서의 인장성형성 향상을 예측할 수 있다.

### 2.2 드로잉금형 및 주변장치

온간 디프 드로잉을 실험하기 위한 금형을 원형 컵드로잉금형과 사각컵 드로잉 금형을 각각 제작 하였으며 금형의 정면도 도면이 Fig. 1에, 그리고 실험을 위한 금형 부품의 치수가 Table 3에 나타나 있다. 펀치에는 냉각수 장치를, 다이와 블랭크 홀더에는 금형을 가열하는 히터장치와 온도를 감지하는 열전대를 설치하여 TPR(Thyristor Power Regulator)방식의 전력제어 방법으로 온도조절을 하였다.

**Table 4 Temperature measured on the punch-corner surface for given forming temperature**

(unit : °C)

Forming Temp. of die & blankholder		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
	□	Cooled	8.6	8.8	9.1	9.8	10.5	11.1
		No Cooled	R.T.	31.2	66.3	85.8	105.6	128.2

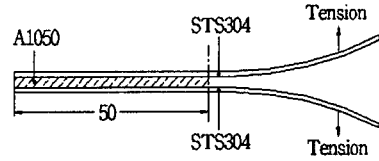
○ : Circular cup die, □ : Square cup die

온도계측은 다이와 블랭크홀더의 표면 온도로 다이코너 반경부가 시작되는 곳으로부터 5mm 떨어진 곳의 온도를 측정하여 성형 온도기준으로 하였으며, 이를 기준으로 펀치 윗면의 온도를 측정한 결과가 Table 4에 나타나 있다.

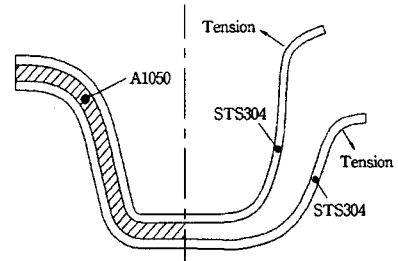
### 2.3 성형성 실험

실험은 원형컵과 사각컵 성형실험을 따로따로 수행하였으며 온간 디프 드로잉 금형을 램의 하강속도가 11.2mm/sec인 200톤 유압프레스에 장착하고 틈새, 펀치 및 다이코너반경, 블랭크 홀딩력 등은 일정하게 유지하였다. 다이와 블랭크홀더의 온도는 상온에서부터 30°C씩의 단계를 두어 180°C까지 6단계로 온도변화에 따른 드로잉 성형성을 조사하였다. 시편은 블랭크형상에 대한 성형효과를 비교하기 위하여 원형컵에서는 시편의 치수를  $\varnothing 75\text{mm}$ 에서부터  $\varnothing 120\text{mm}$ 까지 5mm씩 점진적으로 증가시켜가며 한계드로잉비를 조사하였으며, 사각컵에서는 원형과 정사각형의 두 종류를 준비하여 블랭크의 크기는 원형의 경우 직경 85mm를 기준으로 정사각형의 블랭크는 80mm를 기준으로 가로 세로 5mm씩 증가시켜가면서 제품표면에 파단이 발생할 때까지 계속 실험하면서 최대 성형깊이를 구하였다.

본 실험에서의 블랭크 홀딩력은 드로잉 과정중 소재에 직접 전달되지 않고 단지 주름이 발생하려고 할 때 주름 발생을 억제만 할 수 있도록 다이와 블랭크홀더 사이에 2.1mm 두께의 스페이서



(a) Test of raw material



(b) Test of drawn cup

**Fig. 2 Separation test of clad sheet metals**

(spacer)를 끼우고 실험하였다.

실험시의 윤활제로는 내열성과 윤활성이 양호한 테프론(Teflon) 필름<sup>(15)</sup>을 시편의 양면에 고르게 접착하여 사용하였다.

성형품의 두께분포 측정은 Fig. 2(b)에서 보는바와 같이 성형품의 중심을 원점으로 하여 5mm 간격으로 제품의 윤곽을 따라 가면서 포인터 마이크로미터로 두께를 측정하였다. 상온에서의 실험은 펀치, 다이 등 금형부품을 냉각이나 가열없이 상온상태에서 수행한 것이고, 온간 성형실험은 펀치를 냉각(냉각장치로부터 -5°C의 냉매를 순환)시키고, 다이와 블랭크홀더를 가열시킨 상태에서 실험을 한 것이다.

실험하는 동안 펀치를 냉각하지 않으면 Table 3에서 보는 바와 같이 가열된 다이와 블랭크홀더로부터 펀치로의 열전달이 일어나 다이가 150°C일 때 펀치는 100°C정도 가까이 되어 펀치 코너부에서의 하중 지탱능력이 떨어져 디프 드로잉하기가 어렵게 되기 때문에 반드시 펀치를 냉각하면서 드로잉해야 온간 성형 효과가 있다.

### 2.4 성형 제품의 박리현상 실험

클래드 판재를 드로잉 할 때 압접 소재가 박리

되면 제품의 강도와 기능면에서 불량을 초래 할 수 있기 때문에 제품의 박리에 대한 결함 판독 여부는 대단히 중요하다.

박리현상 분석실험은 여러가지 방법이 있는데, 본 연구에서는 우선 육안으로 분석 판단 할 수 있는 침투탐상검사(Penetrant test)와 전자현미경을 통한 클래드재의 압접 여부를 판단하였으며, 결합력의 정도를 알기 위하여 Fig. 2(a)와 같이 클래드 판재를 폭 5mm, 길이 50mm 정도로 절단하여 시편을 제작하였다. 또 성형 후의 제품은 좌우 대칭이므로 Fig. 2(b)와 같이 제품 용기의 중앙부를 폭 5mm로 절단하여 깨끗하게 폴리싱 작업하고, 용기의 한쪽면을 인장시험기에 연결하기 쉽도록 시편의 중간층을 제거한 후, 인장시험기에서 2mm/min의 속도로 시험한 박리하중을 분석하여 성형제품의 박리현상 유무를 조사<sup>14)</sup>하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 성형온도에 따른 한계드로잉비

원형컵과 정사각컵을 블랭크 형상에 따라 상온과 온간 180°C 사이에서 30°C의 등분간격으로 성형되어진 제품의 형상이 Fig. 3에 나타나 있다. STS304 스테인리스 온간 드로잉에 관한 기존의 연구<sup>13)</sup>에서는 최대 드로잉비 2.8까지 보고된 바 있으나 클래드 강판의 경우엔 알루미늄 소재가 중간에 삽입되어 스테인리스 판재와 서로 복합적 영향을 미쳐 드로잉비 2.5까지 밖에 얻을 수 없었으며 온간드로잉의 최적 작업온도는 Fig. 4에서 알 수 있는 것처럼 STS304-A1050-ST304는 150°C 전후인 것으로 나타났다.

#### 3.2 성형온도에 따른 상대성형깊이

일반적으로 원형컵 드로잉에서는 한계드로잉비를 비교하게 되지만, 사각컵 드로잉은 코너부의 원형컵 드로잉과 직선부의 평면드로잉으로 구성되어 있기 때문에 플랜지면에서의 금속유동은 순수 원형컵 드로잉보다 좋아져서 제품 높이도 더 깊게 성형된다. 그러므로 사각컵 또는 이형 단면용기의 성형시에는 원형컵처럼 한계드로잉비의 개념을 이용하여 성형성을 판단하기 힘들기 때문에 사각 단면의 코너반경(Rc)에 대한제품의 성형깊이(H)의 비율인 상대성형깊이로 비교 조사하였으며, Fig

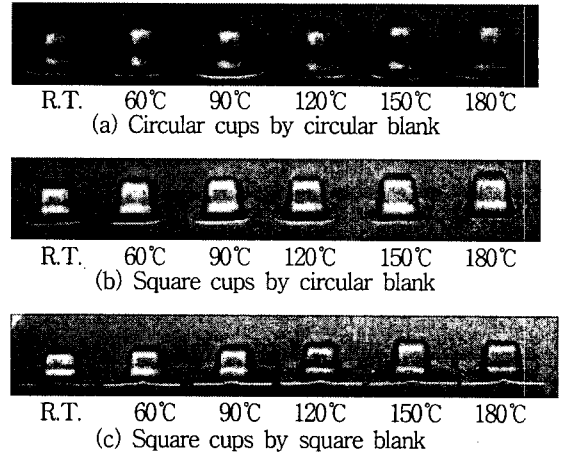


Fig. 3 Warm drawn cups of STS304-A1050-ST304 clad sheet metals

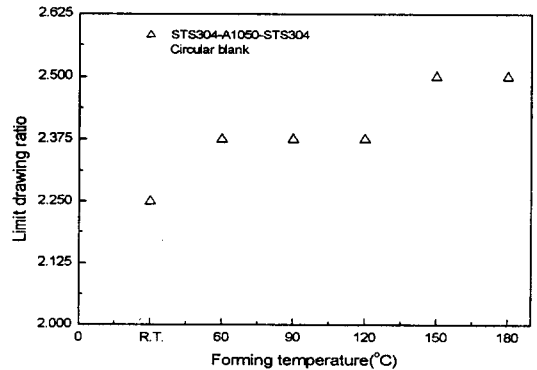


Fig. 4 Limit drawing ratio of circular cups for several working conditions

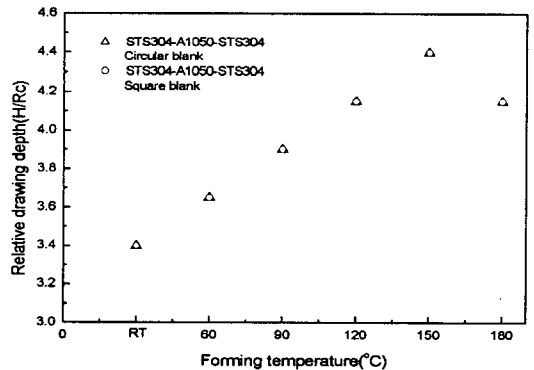


Fig. 5 Relative drawing depth of square cups for several working conditions

4(a)는 원형블랭크, 그림의 (b)는 사각블랭크에 대해서 각각 실험한 상대성형깊이를 나타내고 있다.

STS304 클래드 판재는 블랭크의 형상에 관계없이 상대성형깊이가 4.4(이때의 블랭크 크기 : 원형  $\Phi 120\text{mm}$ , 사각형  $115 \times 115\text{mm}$ ), 이를 상온에서의 값과 비교 할 때 1.29배 증가하고 있어, 클래드 강 판재의 드로잉은 상온에서보다 온간에서 성형효과가 있는 것을 알 수 있다.

최적의 성형온도로는 원형, 사각형 블랭크에 관계없이  $150^\circ\text{C}$ 로 실험결과 나타났다.

### 3.3 성형온도에 따른 원형용기의 두께변화

Fig. 6은 온간드로잉 한 Fig. 4의 원형컵의 클래드 제품 두께변화를 나타내고 있다. 그림은 304 클래드 제품의 두께분포이고, 2종류 재료 모두 펀치코너 반경부위에서 두께가 제일 얇고, 플랜지 측으로 갈수록 두께가 두꺼워지고 있는 것을 알 수 있다. 그림 중의 실선은  $\Phi 90\text{mm}$ 의 블랭크를 사용하여 상온가공한 컵의 결과이고 점선은  $\Phi 100\text{mm}$ 에 대한 실험결과이다.

상온성형보다 온간성형이 두께분포를 더 균일하게 해주고 있으며, 두께변화는 상온, 온간에 관계없이 강도가 높은 스테인리스 판재보다 강도가 낮은 알루미늄 판재에서 두께변화가 심하게 일어나고 있음을 보여주고 있다. 특히 파단이 일어날 수 있는 펀치코너 반경부위에서는 블랭크 크기의 차이로 인해 온간성형보다는 상온성형 제품이 더 얇아지고, 또한 펀치코너 반경부치수가 커서 컵 중심부에서의 인장성형(stretching)효과로 인해 2.0 mm 두께의 클래드재가 많이 연신된 것을 볼 수 있고, 연성이 좋아서 제품 두께가 제품 밑면에서 더 얇아져(2.01mm $\rightarrow$ 1.59mm) 있는 것을 알 수 있다.

### 3.4 성형온도에 따른 사각용기의 두께변화

STS304 클래드 판재의 사각컵 제품에 대한 두께분포 변화를 원형 및 사각형블랭크에 대해 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 나타내었다. 상온과 온간에서의 시편크기를 원형블랭크는  $\Phi 95\text{mm}$ , 사각블랭크는  $95 \times 95\text{mm}$ 로 일정하게 하고 성형온도만 변화시켰을 때 용기의 직변부와 코너부의 두께분포를 보여주는 것으로, 하중이 집중해서 걸리는 펀치코너 반경부에서 두께가 얇아

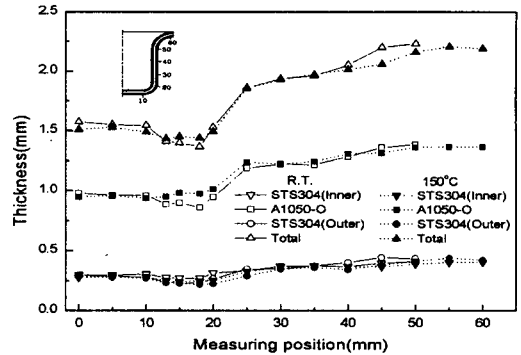
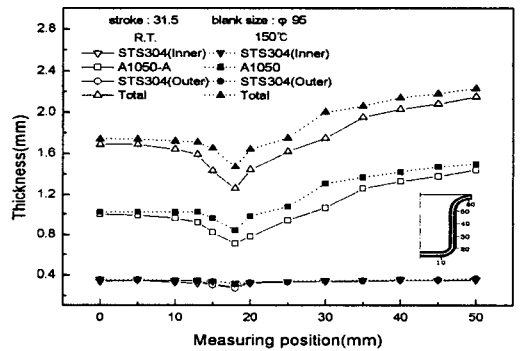
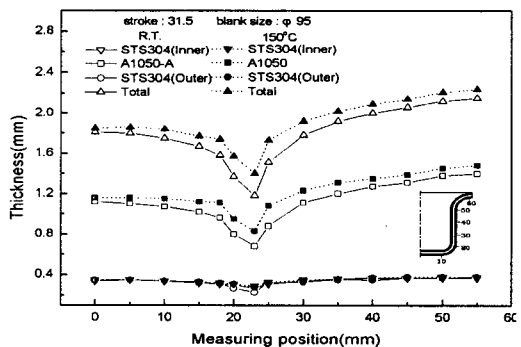


Fig. 6 Thickness distribution of a circular cup by circular blank



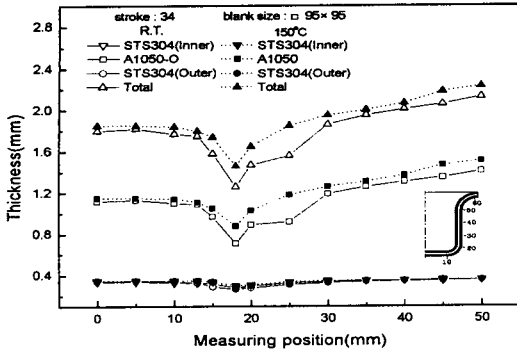
(a) Linear part



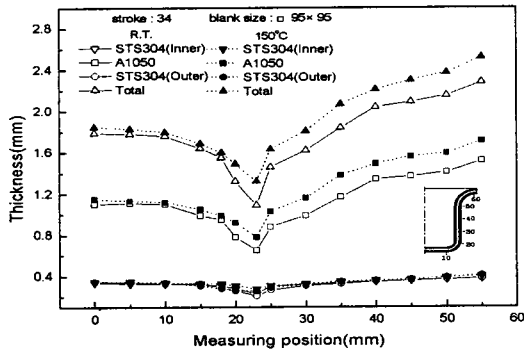
(b) Corner part

Fig. 7 Thickness distribution of a square cup by circular blank

지고 플랜지 쪽으로 갈수록 두께가 두꺼워지고 있음을 알 수 있다.



(a) Linear part



(b) Corner part

Fig. 8 Thickness distribution of a square cup by square blank

상온과 온간 제품의 두께변화율을 비교해 보면 원형블랭크의 Fig. 6에서 직선부분은 온간성형품의 전체 두께편차가 상온보다 17.1% 감소되었고, 곡선부분에서는 15.5% 감소되었다. 마찬가지로 사각블랭크를 사용한 Fig. 8에 있어서도 직선부분에서는 11.5%, 곡선부분에서는 8.2% 감소된 것으로 나타나 온간성형 제품의 두께가 더 균일하게 성형되고 있음을 보여주고 있다.

또한 블랭크 형상 변화의 효과를 각각 비교해 볼 때 사각블랭크의 경우 코너부에서의 두께 얇아짐과 플랜지부에서의 두께 두꺼워짐 현상이 더 심하게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 제품의 직선부보다는 코너부에서 더 잘 알 수 있다.

클래드 판재의 경우, 제품의 두께 변형은 강도가

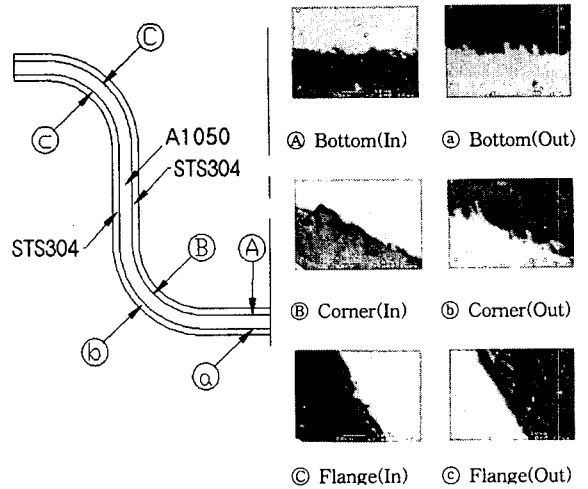


Fig. 9 Optical microscope photographs of crosssections of a drawn cup (magnification,  $\times 2000$ .)

작은 알루미늄 모재에서 대부분 변형되고 있는 반면, 외피재로 사용되는 스테인리스 판재의 두께는 거의 변형되지 않고 있다.

### 3.5 성형제품의 박리검사 결과

압접된 클래드 판재의 성형 후 접합 상태를 조사하기 위하여 본 연구에서는 전자현미경관찰법<sup>16)</sup>, 형광염색 침투탐상법<sup>17)</sup>, 접합강도시험법<sup>18)</sup>의 3가지 방법을 활용하였다.

Fig. 10에서 보는바와 같이 2000배로 확대한 전자현미경에 의한 관측에서 접합면상에서의 일부 재료유동이 관측되고, 박리현상은 보이지 않았다. 그리고 접합면상에 형광적색 침투용액을 도포시켜 크랙이나 박리현상을 체크할 수 있는 침투탐상법에서도 양호한 접합면 상태를 확인 할 수 있었다.

클래드 판재와 성형품의 접합강도를 조사하기 위해 Fig. 2에서와 같이 시편을 준비하여 인장시험기에서 인장 시험해 본 결과, 클래드 소재의 경우엔 박리 하중이 시편에 따라 8~14kgf가 소요되었으며, 성형품의 경우엔 제품 바닥부가 1.5~2.0 kgf, 측벽부가 5~15kgf, 플랜지부가 15~25kgf 소요되는 것으로 측정되었다. 따라서 위의 3가지 방법을 통한 압접상태는 드로잉 작업에 관계없이 양호한 접합면이 계속 유지되는 것으로 확인되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 클래드 판재의 사각컵 용기의 디프 드로잉 성형성을 개선하기 위하여 원형블랭크와 사각블랭크를 이용하여 실험적 연구를 하였으며 이들의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) STS304 클래드 판재의 원형컵 성형에서 한계드로잉비는 150℃에서 11% 증가되었으며 사각컵성형에서 최대 상대성형 깊이는 150℃에서 4.4로 상온에서의 3.4보다는 29% 증가되었다.

(2) 파단과 크랙이 발생하기 쉬운 편치코너 반경부에서의 두께 및 용기의 밑면과 측벽부에서의 두께분포는 상온가공일 때 보다 온간가공일 때 전체 변화폭이 적게 나타나고 더 균일하게 나타났다.

(3) 용기를 성형 후 클래드 제품의 박리현상을 3가지 방법을 적용하였으나 박리현상은 발생되지 않아 클래드 판재의 드로잉작업에 적용 가능함을 확인하였다.

이상의 결론에서 스테인리스-알루미늄-스테인리스 클래드 판재의 드로잉 실험을 통하여 온간성형으로 한계드로잉비와 상대성형깊이비를 증가시킬 수 있었으며, 온간 성형제품의 두께 균일화는 제품의 품질을 향상시킬뿐만 아니라 후공정 단축에 의한 제조비용의 절감과 내구성을 갖춘 경량화로의 소재 전환이 가능하게 되어, 향후 클래드 판재의 온간성형 적용이 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 川並高雄, 2001. "クラッド材の製造技術の現況と展望", 塑性と加工, 第42巻, 第482號, pp. 168~172
- (2) 木村秀途, 2001. "クラッド厚鋼板の製造技術", 塑性と加工, 第42巻, 第482號, pp. 211~217
- (3) 松本總美, 菊間敏夫, 2001. "眞空熱間壓延による金屬固相接合の研究", 第42巻, 第482號, pp. 185~190
- (4) 石尾雅昭, 1991. "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, 第32巻, 第360號, pp. 27~33
- (5) 加藤俊之, 1997. "表面處理鋼板のプレス成形性", 塑性と加工, 第38巻, 第432號, pp. 35~39
- (6) 近藤一義, 平岩正室, 1991. "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, 第32巻, 第360號, pp. 13~19
- (7) 渡部 登臣, 1990. "局部加熱プレス成形における加熱装置と金型構造", 月刊プレス技術, 技術情報株式會社, 第3巻, 第1號, pp. 72-78.
- (8) 吉田總仁, 1998. "積層板のプレス加工", 塑性と加工, 第39巻. 第454號, pp. 1102-1106.
- (9) K. Nohara, Y. Watanabe and K. Yamahata, 1990. "Warm Press forming of Stainless Steel Sheets", 1st Int. Con. on New Manufacturing Technology, Chiba, Japan, pp. 533~537,
- (10) 近藤一義, 平岩正室, 1991. "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
- (11) 橋爪修彦, 森下一, 田中光之, 中村和彦, 1995. "ステンレス鋼板の角筒絞り特性に及ぼす加工成形温度と對向液壓の影響", 塑性加工春季講演會, 調布市, pp. 25-26
- (12) K. SHINAGAWA, T. TAKEOKA, K. I. MORI and K. OSAKADA, 1993, "Finite element simulation of warm deep drawing of type 304 stainless steel sheet with deformation induced transformation", Journal of the JSTP, vol 34, no 390, pp. 794-799.
- (13) Kim, J. H., Choi, C. S., Jeong, B. Y. and Lee, G. H., 1993, "Deep Drawing of Stainless Steel in Warm Working Condition Using a Single Crank Press," 4th ICTP. pp. 1691~1694.
- (14) 이항수, 오영근, 최치수, 2000, "오일팬용 재료의 온간성형 한계도에 관한 연구", 한국소성가공학회, 제9권, 제6호 pp. 670-680
- (15) (주) 진양, Teflon 기술자료, 종합카다로그, 2001.
- (16) 한국공업규격, 1992, KSD 0204, 강의 비금속 개재물의 현미경시험 방법.
- (17) 한국공업규격, 1992, KSB 0816, 침투 탐상시험 방법 및 결함 지시 모양의 등급 분류.
- (18) 한국공업규격, 1992, KSD 0234, 클래드강의 시험 방법.