

# 스테인리스-알루미늄 클래드 강판재의 원형컵 온간 성형성 연구

류호연\* · 김영은\*\* · 김종호\*\*\*  
(1998년 12월 24일 접수)

## Investigation of Formability of Cylindrical Cups in Warm Drawing of Stainless-Aluminum Clad Sheet Metal

Ho-Yeun Ryu, Yeung-Eun Kim and Jong-Ho Kim

**Key Words :** Warm Forming(온간 성형), Clad Sheet Metal(클래드 판재), Formability(성형성), Teflon Film(테프론 필름), Limit Drawing Ratio(한계드로잉비)

### Abstract

Warm forming technique which is one of the new forming technologies to improve formability of sheet metal is applied to the cylindrical 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, STS304-A1050-ST3430 clad sheets and A1050-O aluminum sheet. 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 validity of warm drawing process is also discussed.

### 1. 서론

가전부품, 자동차부품 및 기타 공업제품의 주 재료로 단일 금속(mono sheet)의 재료가 많이 사용되어 왔지만, 최근엔 금속재료의 형상과 기술적인 특성상 단일판재로는 제품의 기능을 발휘하지 못하게 되어 서로 성질이 다른 2종이상의 단일판재를 적층 접합하여 각각의 장점을 서로 보강할 수 있도록 2매판 또는 3매판으로 제작되어지고 있는데 이러한 적층복합판재를 클래드 판재(clad sheet)라고 한다. 제품강도의 보강, 열전도 확산, 부식방지와 수명향상, 원가절감과 품질향상 등을 위해 전기재료로는 알루미늄-구리, 은-구리의 클래드 판재를, 주방용기 및 가전제품에는 강

도보강 또는 열전도 확산, 부식방지를 위해 스테인리스-알루미늄, 철-알루미늄 등의 클래드 판재가 사용된다. 클래드 판재는 내식성, 내열성, 성형성 등에 뛰어난 성질을 갖는 재료<sup>(1,2)</sup>들로 생산되어지고 있으며 그 재료들의 성형법<sup>(3,4)</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 필요하게 되었다. Gotoh<sup>(5,6)</sup>는 사각블록재의 이종재료 또는 동종재료에 대해 압축에 의한 접합성을 실험적 또는 수치해석에 의해 접합재의 성형한계를 예측 분석하였다.

Yoshida<sup>(7)</sup>는 구리와 철이 적층된 재료를 가지고 원형 드로잉 펀치와 반구형 펀치를 사용하여 한계드로잉비(LDR) 성형성을 실험과 수치해석에 의하여 비교 연구하였고, Imatani<sup>(8)</sup>는 클래드 재료의 기계적 물성시험을 굽힘 테스트에 의하여 수행하였다. 近藤<sup>(9)</sup>는 알루미늄과 철의 클래드재를 가지고 평면펀치와 반구형펀치를 사용하여 한계드로잉비를 구하였으며, 吉田<sup>(10)</sup>는 클래드 재료의

\* 회원, 단국대학교 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 단국대학교 기계공학과

\*\*\* 회원, 서울산업대학교 금형설계학과

E-mail : jhkim365@duck.snut.ac.kr

TEL : (02)970-6365 FAX : (02)976-5173

Table 1 Mechanical properties of materials

Material	Thickness (mm)	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Hardness (Hv)	Erichsen value (mm)
STS 304	0.4	65.9	48.4	27.7	189	14.2
STS 430	0.4	47.0	36.2	26.9	175.8	9.7
A1050-0	2.0	7.0	43.0	2.8	21.8	13.1
CLAD 304	0.39				228.6	
Al 304	1.23	33.1	58.7	15.0	44.1	13.1
	0.39				232.3	
CLAD 304	0.39				229.4	
Al 430	1.32	27.2	44.6	16.9	46.4	10.8
	0.39				192.2	

인장굽힘에 의한 판 두께의 변화를 이론적으로 해석하였다. Liu<sup>(11)</sup>는 적층복합재료의 디프드로잉 성형에 대한 강소성 FEM 시뮬레이션을 시도하고 가공경화성이 큰 재료를 외측에 배열함으로써 드로잉성이 향상된다는 것을 발표하였다.

클래드 판재의 성형은 금형설계조건과 작업조건에 따라 성형성이 크게 차이가 나기 때문에 최적의 성형조건을 찾기 위해서는 단일판재의 성형성 분석도 중요하다.

상온에서의 낮은 드로잉성을 향상시키기 위한 방법으로 Kim은 STS304 스테인리스<sup>(12)</sup> 및 알루미늄 판재<sup>(13)</sup>에 대해 온간 성형법을 적용하여 원형컵과 정사각컵의 드로잉 성형성을 온간과 상온에서 비교하여 온간 성형성이 더 우수함을 실험적으로 확인한 바 있다.

본 연구에서는 주방용기의 클래드 재료로 개발되고 있는 스테인리스-알루미늄-스테인리스의 3중 클래드 판재를 상온과 온간에서 작업조건 변화에 따라 드로잉성을 조사하고 제품의 두께, 경도분포, 형상정밀도 등을 비교하여, 최적성형조건을 실험적으로 제시하고자 한다.

## 2. 실험

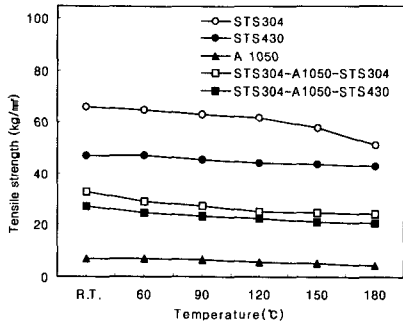
### 2.1 실험재료 및 인장실험

실험재료로는 주방용기 제품에 사용되어지고 있는 소재로 열전도성이 우수한 STS304-A1050-ST304와, STS304-A1050-ST3430의 2종류를 사용하였으며, Table 1에는 실험에 사용한 단일판재와 클래드 판재에 대한 상온에서의 기계적 물성치를 나타내었다. 이들 값은 풀립 처리를 하지 않은

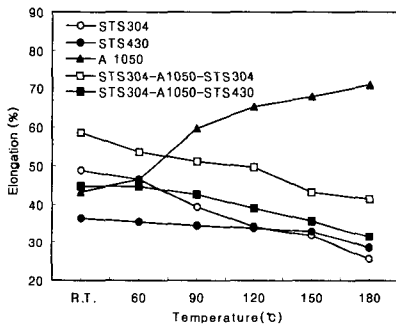
상태에서, 압연방향에 따라 0°, 45°, 90° 방향으로 각각 인장시편을 3개씩 준비하여 실험한 결과의 평균치를 나타낸 것이다. 또한 온간 성형 영역에서의 기계적 성질 변화를 조사하기 위해 시편의 온도를 상온으로부터 30°C씩 증가시키면서 180°C까지 시험하였으며 이들에 대한 결과가 Fig. 1에 나타나 있다. 그림의 (a), (b), (c)는 인장강도, 연신율, 항복강도의 값을 온도에 따라 각각 그래프로 나타낸 것이다.

클래드 재료로 사용되는 스테인리스 STS304와 STS430 판재의 인장강도는 상온에서 65.9kgf/mm<sup>2</sup>와 47kgf/mm<sup>2</sup>, 알루미늄 A1050-O 판재는 7kgf/mm<sup>2</sup>의 강도를 보이고 있는 반면, 클래드 판재는 33.1kgf/mm<sup>2</sup>과 27.2kgf/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%, STS430이 7.2%, 그리고 연신율은 33.9%와 8.8%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.

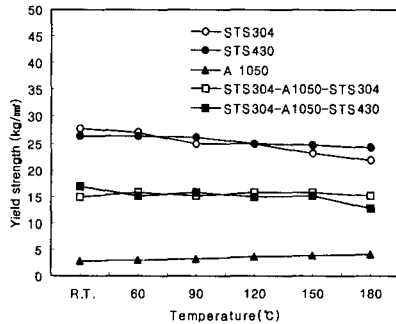
2종류 클래드 판재에 대해서는 인장강도, 연신율 공히 온도증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보여주고 있지만, STS304-A1050-ST304 클래드 판재가 STS304-A1050-ST3430 클래드 판재보다 높은 인장강도와 연신을 나타내고 있어 성형성 향상을 기대할 수 있다. Fig. 1(c)는 항복강도의 변화를 나타낸 것으로 온도증가에 따라 거의 비슷하거나 또는 미소량 감소하는 결과를 나타내고 있고, 단지 알루미늄 소재에 있어서만 약간 증가하는 경향을 보여주고 있다.



(a) Tensile strength



(b) Elongation



(c) Yield strength

Fig. 1 Influence of temperature on the mechanical properties of test materials

2.2 드로잉금형 및 주변장치

원형컵 드로잉을 실험하기 위한 금형 구조가 Fig. 2에 나타나 있다. 펀치는 STD11 냉간 금형 재료를, 다이와 블랭크홀더는 열간 금형재료인 STD61을 사용하였으며, 펀치는 플랜지 주위의 재료를 다이내로 쉽게 드로잉할 수 있도록 하고,

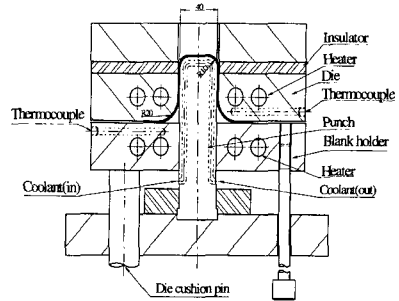


Fig. 2 Schematic view of warm drawing die

또한 소재 강도를 보장시키기 위해 냉각수를 순환시킬 수 있게 설계하였다. 다이와 블랭크홀더에는 용량 400W의 카트리지 히터 8개와 열전대(thermocouple) 1개를 금형 부품 내에 각각 장입하고 TPR(thyristor power regulator)방식의 전력제어 방법으로 온도조절을 하였다.

온도계측은 다이와 블랭크홀더의 표면온도로 다이코너 반경부가 시작되는 곳으로부터 5mm 떨어진 곳의 온도를 측정하여 금형의 온도기준으로 하였다. 따라서 본 실험에 사용한 금형은 냉각장치에 의해 냉각되는 중앙부의 펀치와 가열장치에 의해 온도가 조절되는 외주부의 다이, 블랭크홀더로 구성되었다.

2.3 실험

실험은 온간드로잉 금형을 램의 하강속도가 11.2mm/sec인 200톤 유압 프레스에 장착하고 틈새, 펀치 및 다이 코너반경, 블랭크 홀딩력 등은 일정하게 유지하고 다이와 블랭크홀더의 온도, 시편치수를  $\varnothing 75\text{mm}$ 에서부터  $\varnothing 120\text{mm}$ 까지 5mm 씩 점진적으로 증가시키면서 온도변화에 따른 드로잉 성형성을 조사하였다. 온간작업에서의 윤활 재료는 내열성과 윤활성이 양호한 테프론(teflon) 필름을 시편의 양면에 고르게 접착하여 사용하였다. 상온에서의 실험은 펀치, 다이 등 금형부품을 냉각, 가열없이 상온상태에서 수행한 것이고, 온간 드로잉은 펀치를 냉각시키고(냉각장치로부터  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 냉매를 순환), 다이와 블랭크홀더는 가열시킨 상태에서 실험한 것을 의미한다. 실험하는 동안 펀치를 냉각하지 않으면 Table 2에서 보는 바와 같이 가열된 다이, 블랭크홀더로부터 펀치로의 열전달이 일어나 다이가  $150^{\circ}\text{C}$ 일 때 펀치는  $94^{\circ}\text{C}$ 가 되어 펀치 코너부에서 소재의 인장

**Table 2** Temperature of punch coner radius measured for given forming temperature (unit : °C)

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

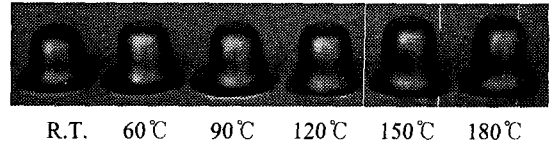
**Table 3** Size of die components in warm deep drawing (unit : mm)

Parts	Size	Punch corner radius	Die corner radius	Clearance
Punch	∅40	10	-	4
Die	∅48	-	20	

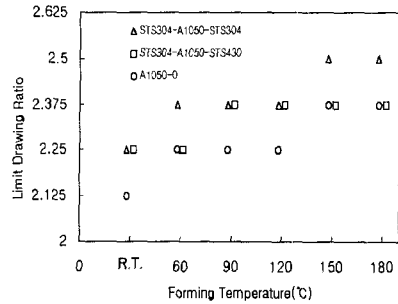
강도 감소로 인하여 박판의 하중 지탱능력이 떨어져 다프 드로잉하기가 어렵게 되기 때문에 반드시 펀치를 냉각하면서 드로잉해야 온간성형 효과가 있다. 본 실험을 위한 금형부품 치수가 Table 3에 주어져 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

실험에 사용한 소재는 클래드 강판인 STS304-A1050-ST304과 STS304-A1050-ST3430의 2종류와 클래드 강판에 사용된 알루미늄이다. 클래드 강판은 0.4mm의 STS304 스테인리스 판재와 2.0mm의 알루미늄 판재를 450°C에서 압연에 의해 압접을 한 것으로, 압접 후의 스테인리스 판재는 0.39mm, 알루미늄 판재는 1.23mm로 강도가 낮은 알루미늄 소재가 주로 얇아지면서 클래드 강판이 제조되었다. 이러한 클래드 강판재를 사용한 원통컵 형상이 Fig. 3에 주어져 있으며, 성형된 용기에서 주름과 파단을 피할 수 있는 드로잉비(소재직경/펀치직경)를 재질별로 비교한 것이 Fig. 4에 나타나있다. 일반적으로 드로잉성이 낮은 알루미늄 소재의 경우, 상온에서 2.125의 드로잉비를 나타낸 반면, 150°C의 온간 가공에서는 2.375로 드로잉성이 향상되는 것을 보여주고 있으며, 이러한 현상은 클래드 판재에 대해서도



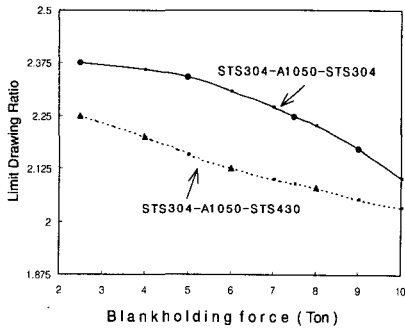
**Fig. 3** Warm drawn cups of STS304-A1050-ST304 clad sheets



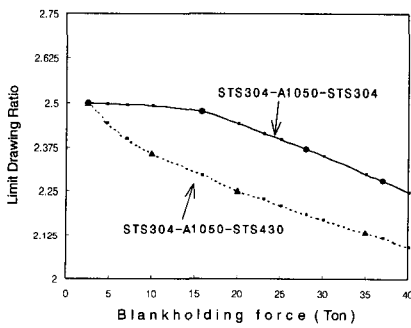
**Fig. 4** Comparison of limit drawing ratio for three kinds of materials

똑같이 나타나고 있다. 특히 온간 성형성이 우수한 것으로 나타난 STS304 소재는 STS430 소재가 클래드 된 강판보다 더 좋은 2.5의 드로잉비를 나타내고 있다.

STS304 스테인리스 온간 드로잉에 관한 기존의 연구<sup>(12)</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 그림에서 알 수 있는 것처럼 STS304-A1050-ST304는 150°C, STS304-A1050-ST3430은 90°C 전후인 것으로 나타났다. Fig. 5는 2종류의 클래드 강판재에 대한 성형한계를 블랭크 홀딩력에 따라 조사한 것이다. 블랭크 홀딩력을 증가하면서 제품에 파단이나 주름 결함이 발생하지 않고 깨끗하게 성형할 수 있는 드로잉비의 결과로서 Fig. 5의 (a)는 상온에서 실험한 것이고 Fig. 5의 (b)는 온간에서 조사한 것이다. 블랭크 홀딩력이 증가할수록 드로잉비가 낮아지면서 파단에 의한 성형한계가 작업온도에 관계없이 모두 떨어지고 있으며, 특히 STS304 스테인리스 클래드 판재보다 STS430 소재가 접합된 클래드 판재의 성형성이 더 나쁜



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



(b) Warm drawing (T=150°C)

Fig. 5 Forming limit curve for the change of blank-holding force

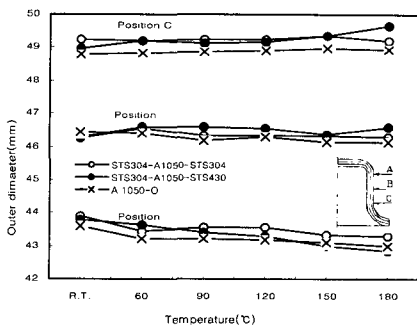


Fig. 6 Comparison of dimensional accuracy of drawn cups

것으로 나타났다. 본 실험에서의 다이코너 반경이 20mm로 크게 설계된 관계로 드로잉비 2.125미만의 실험은 불가능하여 상온작업에서는 블랭크 홀딩력이 9톤까지 밖에 조사되지 못했으나, 온간가공에서는 블랭크 홀딩력을 40톤까지 변화시킬 수

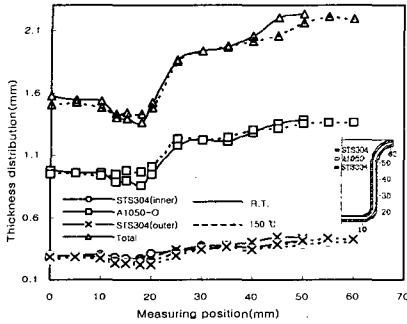
있었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 블랭크 홀딩력이 증가될수록 성형성이 떨어지고 있기 때문에 본 연구에서는 블랭크 홀딩력을 최소로 한 상태(2.375톤)에서 모든 실험을 수행하였다.

Fig. 6은 클래드 판재 및 알루미늄 판재의 원형 컵제품의 외경치수를 펀치코너 반경부위(컵 윗면에서 25mm)와 측벽부(컵 윗면에서 20mm위치), 다이코너 반경부위(컵 윗면에서 15mm위치)에서 각각 측정하여 각 성형 온도대별로 평균값을 나타낸 것이다. 펀치 반경부위에서는 클래드 및 알루미늄 제품 모두 펀치직경(∅40mm)과 시편의 두께(2.01mm)를 합친 치수에 근접하게 성형되고 있지만, 용기의 중간 부분인 벽 부위와 다이코너 반경부위의 치수는 금형 틈새가 시편 두께의 2배(틈새 4mm)로 설계되어 있기 때문에 제품의 상부로 갈수록 다이치수에 가깝게 성형되고 있다. 즉 이와 같이 틈새가 큰 상태에서 드로잉하게 되면 제품의 상단부와 하단부에서의 직경차가 틈새량 이상으로 크게 발생하기 때문에 치수정밀도가 높은 드로잉에 있어서는 틈새량을 재료 두께의 1.05-1.1배로 제어할 필요가 있다.

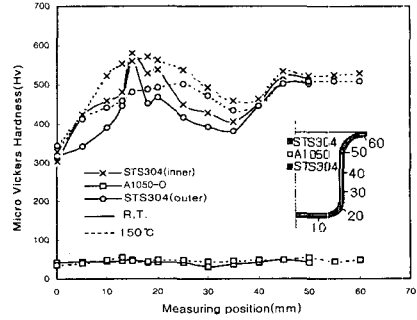
다이 내경(∅48mm) 치수에 비해 컵 상단부에서는 스프링 백 현상이 생기고 있으며, 제품의 직경은 성형온도에 관계없이 거의 비슷한 치수분포를 보여주고 있다. 그림에서 특히 드로잉하중을 집중적으로 받는 펀치코너반경부위(위치A)에서는 온도증가에 따라 사용시편의 직경이 커지고(∅90mm→ ∅100mm), 이로 인한 플랜지 부위에서의 저항증가로 소재의 연신이 많이 일어나 직경치수가 일부 감소되고 있는 경향이 있다.

Fig. 7은 온간드로잉 한 Fig. 4의 클래드 제품의 두께변화를 나타내고 있다. 그림의 (a)는 304 클래드 제품의 두께분포이고, 그림의 (b)는 430 클래드 제품의 두께분포이다. 2종류 재료 모두 펀치코너 반경부위에서 두께가 제일 얇고, 플랜지 측으로 갈수록 두께가 두꺼워지고 있는 것을 알 수 있다. 그림 중의 실선은 ∅90mm의 블랭크를 사용하여 상온가공한 컵의 결과이고 점선은 ∅100mm(304 클래드재) 또는 ∅95mm(430 클래드재)의 블랭크에 대한 실험결과이다.

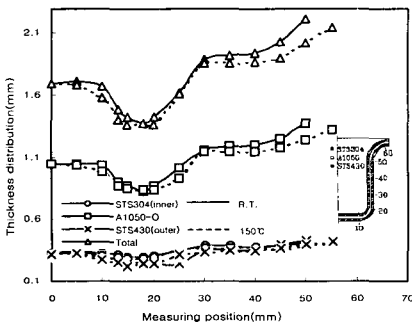
상온성형보다 온간성형이 두께분포를 더 균일하게 해주고 있으며, 두께변화는 상온, 온간에 관계없이 강도가 높은 스테인리스 판재보다 강도



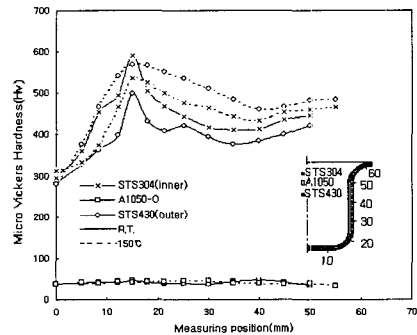
(a) STS304-A1050-STS304



(a) STS304-A1050-STS340



(b) STS304-A1050-STS430



(b) STS304-A1050-STS430

**Fig. 7** Thickness distribution of cylindrical cups of clad sheets

**Fig. 8** Hardness distribution of cylindrical cups of clad sheets

가 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 반경부위수가 커서 컵 중심부에서의 인장성형(stretching) 효과로 인해 2.01 mm 두께의 클래드재가 많이 연신된 것을 볼 수 있고, 특히 연성이 좋은 STS304 클래드재의 경우 제품 두께가 제품 밀면에서 더 얇아져(2.01mm→ 1.59mm) 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 Fig. 7의 두께 분포를 측정한 원형컵의 단면에 대한 경도분포를 나타내고 있다. 컵의 펀치코너 반경부위에서 경도값이 최고치로 나타나고 있는데 펀치가 플랜지부의 재료를 다이속으로 끌고 들어감에 따라 펀치코너 반경부위는 플랜지부에서의 압축력, 다이코너 반경부위에서의 마찰력과 굽힘력, 용기측벽에서의 스트레칭력 등에 의해 이 부위에서 가장 두께가 얇게 되지만

경도값은 가장 크게 나타났다. 경도분포는 두께 분포와는 달리 알루미늄 판재보다 스테인리스 판재에서 더 큰 폭으로 변화를 보이고 있다. 또한 냉각된 펀치측의 내측 재료보다는 가열된 다이와 접촉하고 있는 외측 클래드 재료의 경도가 낮게 나타났으며 원소재의 경도(Hv192-232)와 비교할 때, 성형 후엔 제품전체영역이 가공 경화 현상을 보이며, 펀치코너 반경부위에서의 경도는 원소재의 최대 3.1배까지 경화되고 있음을 보여주고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 클래드 판재의 디프 드로잉 성형성을 개선하기 위하여 온간 성형방법에 의한 기계 드로잉비를 얻고자 실험적 연구를 하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 온간성형에서 STS304-A1050-ST304 클래드 판재는 한계드로잉비가 2.5이고, STS304-A1050-S TS430 클래드 판재는 2.38의 한계드로잉비를 얻어, 상온의 드로잉비 2.25에 비해 온간성형성이 향상된 것으로 나타났으며 블랭크 홀딩력 변화에 따른 성형 한계를 비교해도 STS304-A1050-ST304 클래드 판재가 STS304-A1050-ST304 클래드 판재보다 더 좋은 것으로 나타났다.

(2) 클래드 판재의 치수정밀도는 틈새에 큰 영향을 받았으며, 두께변화는 스테인리스 판재보다는 강도가 약한 A1050-O 소재에서 크게 변화하였지만 경도분포에 있어서는 두께에 관계없이 가공경화성이 큰 스테인리스 판재에서 경도변화가 심하게 일어났다.

이상의 원형컵 드로잉실험을 통하여 온간 드로잉에서의 한계드로잉비는 상온보다 좋게 나타났으며 컵 단면의 두께 및 경도분포를 고려할 때, 온간제품이 보다 더 품질안정을 나타내고 있어 클래드 판재에 대해서 향후 온간성형 효과가 기대 된다.

### 후 기

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

### 참고문헌

- (1) 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(日本塑性加工學會誌), Vol. 32, No. 360, pp. 27~33.
- (2) 山口克彦, 1997, "板材成形における最近の動向," 塑性と加工 (日本塑性加工學會誌), Vol. 38, No.432, pp. 23~27.
- (3) 加藤俊之, 1997, "表面處理鋼板のプレス成形法," 塑性と加工 (日本塑性加工學會誌), Vol. 38, No.432, pp. 35~39.
- (4) 臼田松男, 橋本浩二, 1997, "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), Vol. 38, No. 432, pp. 40~44.
- (5) Gotoh, M., and Chung,T.H., 1995, "Numerical Investigation of Forming Limit of Sheet Metals due to Shear Band Localization (1st Report Dependence of the Forming Limit Strain of Sheet Metals on the Thickness and the Forming Limit of Gradient Metal sheets)," *JSME*, Vol. 61, No. 593, pp. 2636~2641.
- (6) Chung, T. H. and Gotoh, M., 1995, "Numerical Investigation of Forming Limit of Sheet Metals due to Shear Band Localization(2nd Report, Forming Limit Strain of Banded Sheet Metals)," *JSME*, Vol. 62, No. 594, pp. 2636~2641.
- (7) Yoshida, F., Mori, K., Ohmori, M. and Okada, T., 1993, "Deep Drawing of Copper/Steel Sheet Metal Laminate," *4th ICTP*, pp. 1657~1662.
- (8) Imatani, S., Yamaguchi, K., Oakakura, N. and Yin, C. Y., 1993, "Mechanical Response of Laminated Sheet Metals," *4th ICTP*, pp. 1887~1892.
- (9) 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(日本塑性加工學會誌), Vol.32, No. 360, pp. 13~19.
- (10) 吉田總仁, 1991, "積層複合板の弾塑性變形の力學," 塑性と加工 (日本塑性加工學會誌), Vol.32, No. 360, pp. 20~26.
- (11) Liu, J., Yamaguchi, K., Imatani, S. and Takakura, N., 1996, "Investigation on Variation of Drawability of Laminated Sheet Metals Using FEM Simulations," *5th ICTP*. pp. 699~702.
- (12) 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.
- (13) 류호연, 배원택, 김종호, 김성민, 구본영, 금영탁, 1998, "알루미늄 합금 박판 비등온 성형공정의 유한요소해석 및 실험적 연구(제 1부 실험)," 한국소성가공학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 53~57.