

온간성형법에 의한 클래드 강판재의 정사각컵 드로잉성 향상에 관한 연구

류호연* · 김영은** · 김종호***

(2001년 4월 18일 접수)

Improvement of Square Cup Drawability of Clad Sheet Metal by Warm Forming Technique

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

Abstract

This study was performed to investigate the optimized warm forming conditions which gave the maximum drawing depth in square cup drawing of clad sheet metals, by changing the temperatures of die and blankholder and also shapes and materials of blanks. Two kinds of clad sheet metals, STS304-A1050-ST304 and STS304-A1050-ST3430 were selected for experiments. The relative drawing depth of STS304-A1050-ST304 clad sheet was increased up to 4.4 at 150°C that was 29% higher than at room temperature, whereas STS304-A1050-ST3430 material was improved to 3.9 at 120°C which was 15% better than at room temperature. In addition, comparison of wall thickness and hardness of a warm drawn cup with those of room temperature showed more even distributions. No separation between each laminated material after drawing occurred through inspection by microscope as well as application of penetrant test and bond strength test. Therefore, warm forming technique was confirmed to give better results in deep drawing of stainless clad sheet metal.

Key Words : Clad Sheet Metal, Warm Forming Technique, Relative Drawing Depth

1. 서 론

박판 금속의 디프 드로잉 가공은 통상 상온에서 실시하나, 변형중의 가공경화 특성으로 인하여 한번의 가공으로 불가능할 때에는 여러번의 재드로잉 또는 새로운 성형 방법을 개발 할 필요가 있다. 이러한 방법의 일환으로 금형의 일부를 가열 또는 냉각시키면서 금형 부품

간의 온도차를 이용하는 온간 드로잉방법⁽¹⁾이 제시되었는데 이 방법은 온도가 상승함에 따라 재료의 항복강도가 감소되어 플랜지 부위에서의 소성변형을 촉진시키고 펀치 코너부위에서는 소재를 냉각시킴으로서 재료의 파단강도를 높여 제품을 깊게 드로잉 할 수 있도록 고안한 방법이다. 클래드 판재의 성형성⁽²⁾에 관한 주요인자로는 판두께 방향으로의 변형분포, 모재와 다른 재질과의 변

* 단국대학교 대학원 기계공학과
** 단국대학교 기계공학과
*** 서울산업대학교 금형설계학과

형강도차, 모재와 압접된 재질과의 접합강도 등으로 서로 다른 재질들간의 복합적인 성형조건이 중요하다.

吉田⁽³⁾은 스테인리스-알루미늄의 2매판 클래드 판재를 가지고 다이에 접촉되는 부위를 스테인리스인 경우와 알루미늄인 경우를 성형하여 두께와 성형하중의 변화를 실험적으로 연구하였으며, 渡部⁽⁴⁾ 등은 펀치부위는 냉각, 다이와 블랭크홀더 부위는 가열하여 스테인리스-알루미늄 클래드 판재의 온간드로잉 가공으로 원형킵의 한계드로잉비, 두께변화, 경도분포 등의 조사를 통하여 클래드 판재의 성형성이 온도에 의존함을 제시하였다.

近藤⁽⁵⁾ 등은 알루미늄과 황동을 클래드 시킨 판재에 대해 평면펀치와 반구형펀치를 사용하여 원형킵 드로잉성과 제품의 두께변화를 조사하였다.

橋波⁽⁶⁾ 등은 대향액압 드로잉공정에 온간 성형법을 적용하여 스테인리스 강판의 각통 드로잉 성형에 미치는 영향을 실험적으로 연구한 결과 드로잉비가 상온보다 1.17배정도 증가됨을 보였다.

Shinagawa⁽⁷⁾ 등은 스테인리스 304강판을 온간드로잉 가공으로 펀치 속도와 성형온도를 변화시키면서 한계드로잉비를 향상시키는 실험을 하여 이론해석과 비교 분석하였다.

Kim^(8,9) 등은 스테인리스-알루미늄-스테인리스의 클래드 판재를 가지고 원형킵 드로잉성을 실험적으로 분석하여 상온보다 온간에서 클래드 판재의 한계드로잉비와 두께변화가 좋게 나타남을 비교하였으며, Lee⁽¹⁰⁾ 등은 오일 펀용으로 많이 사용되어지는 SCP1과 SCP3C 재료를 사용하여 5°C~150°C, 즉 실용적 범위의 상온에서부터 온간 영역까지 인장시험을 통하여 성형한계도를 작성하여 온도에 따른 영향을 분석하였다. Lee⁽¹¹⁾ 등은 SCP1 소재에 대한 기계적 성질 시험과 온간드로잉 실험을 수행하고 온간성형 효과를 유한요소해석에 접목시켜 해석결과를 실험과 비교 분석하여 재료의 온간성형 효과와 성형변수 영향 등을 고찰하였다.

본 연구에서는 주방용기의 고품위와 에너지 효율 향상을 위해 산업에 적용되고 있는 클래드 판재의 사각용기를 성형하기 위해 시편 형상과 성형온도를 변화시키면서 온간성형성 및 최적의 작업온도를 조사하고 제품의 두께 및 경도분포, 박리시험 등을 통해, 클래드 판재의 최적 성형조건을 실험적으로 조사 분석하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험재료의 특성

본 실험에 사용한 소재로는 STS304-A1050-STS304(이하

STS304 클래드 판재라 한다)와 STS304-A1050-STS430(이하 STS430 클래드 판재라 한다)의 2가지 클래드 판재를 사용하였다. 이 판재는 내측에 0.4mm의 STS304 스테인리스 판재를, 외측에는 STS304(또는 STS430) 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 온도변화에 따른 인장강도, 연신율, 항복강도 등의 기계적 성질은 선행연구⁽⁹⁾에 자세히 기술되었으며, Table 1에는 실험에 사용한 소재의 종류와 두께 및 경도 측정치가 주어져 있다. 재료의 강도는 제품의 성형시 가공정도를 나쁘게 하는데 클래드 판재의 마이크로비커스 경도값을 비교해 보면 원소재 STS304는 189, STS430은 175, A1050은 21정도의 값을 나타냈으나, 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.

2.2 드로잉금형 및 주변장치

사각킵 온간 디프 드로잉을 실험하기 위한 금형도면이 Fig. 1에, 그리고 실험을 위한 금형 부품의 치수가 Table 2에 나타나 있다.

펀치에는 냉각수 장치를, 다이와 블랭크홀더에는 금형을 가열하는 히터장치와 온도를 감지하는 열전대를 설치하여 TPR(Thyristor Power Regulator)방식의 전력제어 방법으로 온도조절을 하였다.

Table 1 Thickness and hardness of test materials

Materials	Thickness (mm)	Micro Vickers Hardness (Hv)
STS 304	0.4	189
STS 430	0.4	175.8
A1050-0	2.0	21.8
CLAD 304	0.39	228.6
Al	1.22	44.1
304	0.39	232.3
CLAD 304	0.39	229.4
Al	1.22	46.4
430	0.39	192.2

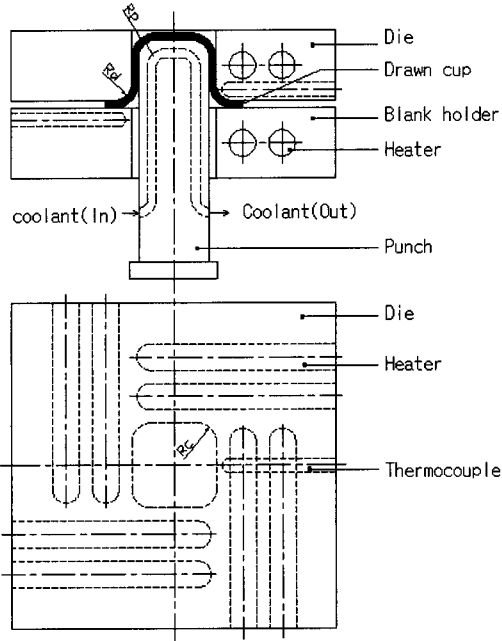


Fig. 1 Schematic view of warm drawing die

Table 2 Size of square die components in warm deep drawing

(unit : mm)

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

Table 3 Temperature measured on the punch-corner surface for given forming temperature

(unit : °C)

Forming Temp. of die &		R.T.	60	90	120	150	180
Punch	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

온도계측은 다이와 블랭크홀더의 표면 온도로 다이코너 반경부가 시작되는 곳으로부터 5mm 떨어진 곳의 온도를 측정하여 성형 온도기준으로 하였으며, 이를 기준으로 펀치 윗면의 온도를 측정된 결과가 Table 3에 나타나 있다.

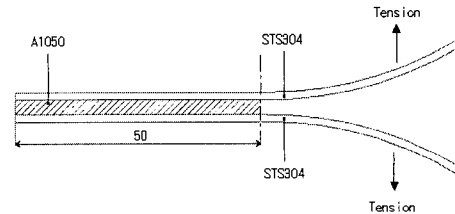
2.3 성형성 실험

실험은 사각컵 온간 디프 드로잉 금형을 램의 하강속도가 11.2mm/sec인 200톤 유압프레스에 장착하고 틈새, 펀치 및 다이코너반경, 블랭크 홀딩력 등은 일정하게 유지하고 다이와 블랭크홀더의 온도를 상온에서부터 30°C씩의 단계를 두어 180°C까지 6단계로 온도변화에 따른 드로잉 성형성을 조사하였다. 시편은 블랭크형상에 대한 성형효과를 비교하기 위하여 원형과 정사각형의 두 종류를 준비하였으며, 블랭크의 크기는 원형의 경우 직경 85mm를 기준으로 정사각형의 블랭크는 80mm를 기준으로 가로 세로 5mm씩 증가시켜가면서 제품표면에 파단이 발생될 때까지 계속 실험하면서 최대 성형깊이를 구하였다.

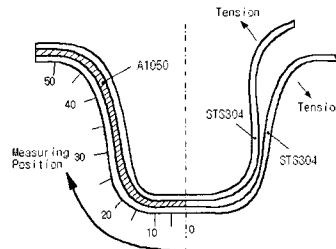
본 실험에서의 블랭크 홀딩력은 드로잉 과정중 소재에 직접 전달되지 않고 단지 주름이 발생하려고 할 때 주름 발생을 억제할 수 있도록 다이와 블랭크홀더 사이에 2.1mm 두께의 스페이스(Spacer)를 끼우고 실험하였다.

실험시의 윤활제로는 내열성과 윤활성이 양호한테프론(Teflon) 필름을 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 마이크 로미터로 두께를 측정하였다.



(a) Test of raw material



(b) Test of drawn cup

Fig. 2 Separation test of clad sheet metals



Blank R.T. 150°C

(a) Drawn cups by circular blank(Φ95)



Blank R.T. 150°C

(b) Drawn cups by square blank(□95×95)

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

상온에서의 실험은 펀치, 다이 등 금형부품을 냉각이나 가열없이 상온상태에서 수행한 것이고, 온간 성형실험은 펀치를 냉각시키고, 다이와 블랭크홀더를 가열시킨 상태에서 실험을 한 것이다.

실험하는 동안 펀치를 냉각하지 않으면 Table 3에서 보는 바와 같이 가열된 다이와 블랭크홀더로부터 펀치의 열전달이 일어나 다이가 150°C일 때 펀치는 105.6°C가 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 박리되면 제품의 강도와 기능면에서 불량을 초래 할 수 있기 때문에 제품의 박리에 대한 결함 판독 여부는 대단히 중요하다.

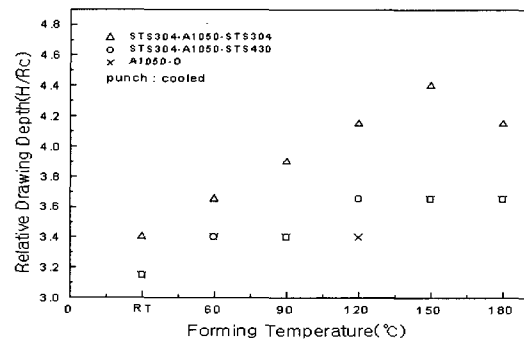
박리현상 분석실험은 여러가지 방법이 있는데, 본 연구에서는 우선 육안으로 분석 판단 할 수 있는 침투탐상 검사(Penetrant test)¹³⁾와 전자현미경을 통한 클래드재의 압접 여부를 판단하였으며, 결합력의 정도를 알기 위하여 Fig. 2(a)와 같이 클래드 판재를 폭 5mm, 길이 50mm 정도로 절단하여 시편을 제작하였다. 또 성형 후의 제품은 좌우 대칭이므로 Fig. 2(b)와 같이 제품 용기의 중앙부를 폭 5mm로 절단하여 깨끗하게 폴리싱 작업하고, 용기의 한쪽면을 인장시험기에 연결하기 쉽도록 시편의 중간층을 제거한 후, 인장시험기에서 2mm/min의 속도로 시험한 박리하중을 분석하여 성형제품의 박리현상 유무를 조사¹⁴⁾하였다.

3. 실험결과 및 고찰

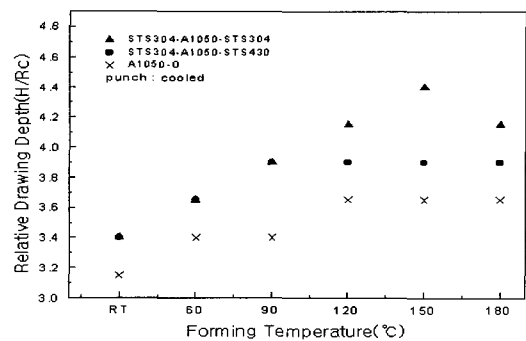
3.1 성형온도에 따른 상대성형 깊이

원형과 정사각형의 블랭크를 사용하여 상온과 온간의 150°C에서 사각드로잉된 제품들의 형상이 Fig. 3에 나타나 있다. 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 4(a)는 원형블랭크, 그림의 (b)는 사각블랭크에 대해서 각각 실험한 상대성형깊이를 나타내고 있다. STS304 클래드 판재는 블랭크의 형상에 관계없이 상대



(a) Circular blank



(b) Square Blank

Fig. 4 Relative drawing depth of square cups for several working conditions

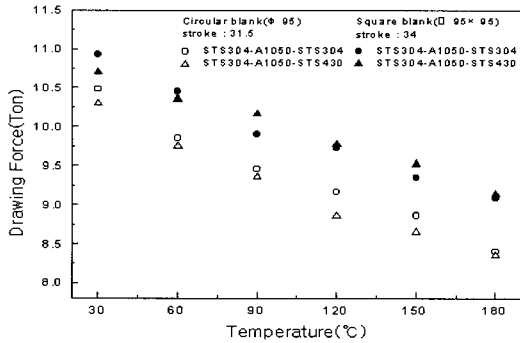


Fig. 5 Drawing force of square cups for various forming temperatures and blank shapes

성형깊이가 4.4(이때의 블랭크 크기 : 원형 $\Phi 120\text{mm}$, 사각형 $115 \times 115\text{mm}$), STS430 클래드 판재는 원형블랭크 ($\Phi 105\text{mm}$)에서 3.65, 사각블랭크($105 \times 105\text{mm}$)에서는 3.9를 얻었으며, 이를 상온에서의 값과 비교 할 때 1.29배, 1.16배, 1.24배 각각 증가하고 있어, 클래드 강판재의 드로잉은 상온에서보다 온간에서 성형효과가 있는 것을 알 수 있다.

그러나 STS304 단일 판재에 대한 온간드로잉 결과⁸⁾(상온 대비 온간성형 깊이가 1.6배 증가)와 비교해 볼 때 클래드 판재의 온간 드로잉성이 낮은 것으로 나타났는데 이는 클래드 판재의 온도변화에 따른 항복강도 감소율이 낮고⁹⁾, 알루미늄의 낮은 드로잉성에 기인한다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 STS304 클래드 판재가 STS430 클래드 판재와 모재로 사용된 알루미늄 판재보다 온간 성형성이 뛰어난 것을, 그리고 최적의 성형온도로는 전자가 150°C , 후자가 120°C 전후인 것으로 나타났다. STS304 클래드 판재의 경우엔 원형, 사각형 블랭크에 관계없이 똑같은 성형성을 보여주고 있지만, STS430 클래드 판재의 경우엔 사각형 블랭크가 더 나은 성형성을 나타내고 있다.

3.2 성형온도에 따른 드로잉하중

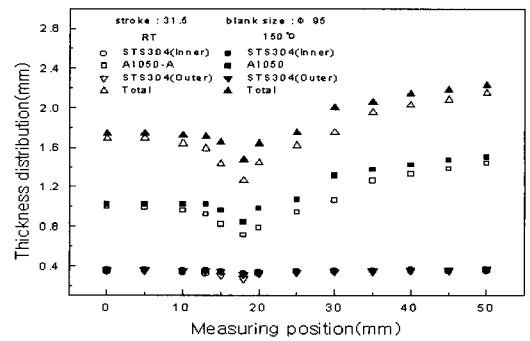
Fig 5는 2종류의 클래드 판재에 대하여 블랭크 크기를 일정하게 한 상태에서 블랭크 형상에 따라 드로잉 하중을 조사한 것으로 성형온도 증가에 따라 드로잉하중이 감소되는 것을 나타내고 있다.

블랭크의 형상에서는 다이와 블랭크홀더에 접촉 면적이 27% 많은 사각블랭크를 사용했을 때 드로잉하중이 크게 나타났으며, 일반적으로 강도가 높은 STS304 클래드 판재가 STS430 클래드 판재보다 높은 드로잉하중을 나타내고 있다.

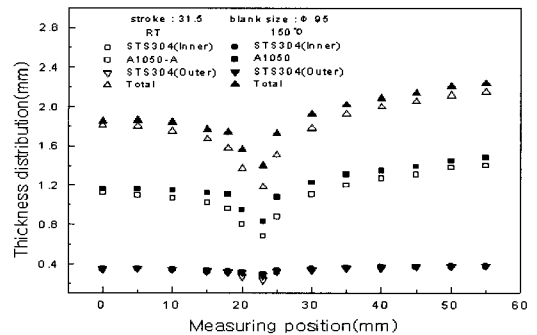
3.3 성형온도에 따른 용기의 두께변화

STS304 클래드 판재의 사각컵 제품에 대한 두께분포 변화를 원형 및 사각형블랭크에 대해 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었다. 상온과 온간에서의 시편크기를 원형블랭크는 $\Phi 95\text{mm}$, 사각블랭크는 $95 \times 95\text{mm}$ 로 일정하게 하고 성형온도만 변화시켰을 때 용기의 직선부와 코너부의 두께분포를 보여주는 것으로, 하중이 집중해서 걸리는 편치코너 반경부에서 두께가 얇아지고 플랜지 쪽으로 갈수록 두께가 두꺼워지고 있음을 알 수 있다.

상온과 온간 제품의 두께변화율을 비교해 보면 원형블랭크의 Fig. 6에서 직선부분은 온간성형품의 전체 두께 편차가 상온보다 17.1% 감소되었고, 곡선부에서는 15.5% 감소되었다. 마찬가지로 사각블랭크를 사용한 Fig. 7에 있어서도 직선부에서는 11.5%, 곡선부에서



(a) Linear part



(b) Corner part

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

는 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 플랜지

부에서의 두께 두꺼워짐 현상이 더 심하게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 제품의 직선부보다는 코너부에서 더 잘 알 수 있다.

클래드 판재의 경우, 제품의 두께 변형은 강도가 작은 알루미늄 모재에서 대부분 변형되고 있는 반면, 외피재로 사용되는 스테인리스 판재의 두께는 거의 변형되지 않고 있다.

3.4 성형온도에 따른 용기의 경도변화

Fig. 8과 Fig. 9는 Fig. 6과 Fig. 7의 성형품 단면에 대해 마이크로비커스 경도를 측정된 것으로 두께분포에서 가장 얇게 측정되었던 펀치코너 반경부에서의 경도분포 값이 가장 높게 나타났다.

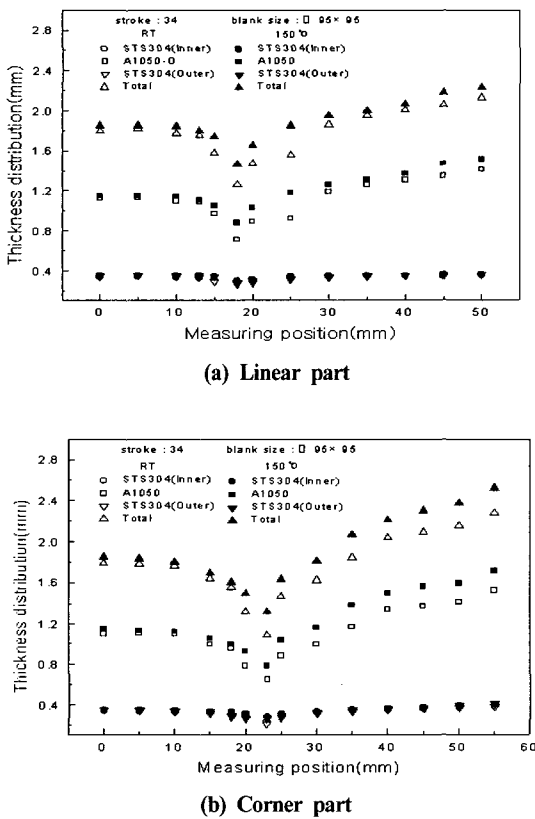


Fig. 7 Thickness distribution of a square cup by square blank

이 부분은 특히 온간 성형 제품보다 상온 성형제품의 경도값이 큰 폭으로 변화를 보이고 있어 더욱 깊게 성형될 때에는 용기의 파단이 일어나기 쉬운 부분이다. 똑같은 크기의 블랭크를 사용할 때 온간에서의 성형 제품이

더 낮고 균일한 경도분포를 보이고 있으며, 원형 소재보다 사각소재를 사용할 때 코너부에서의 경도가 더 높게 나타나고 있다.

클래드 강판의 내측, 외측 재질이 같은 경우 성형품의 내측 경도가 더 높게 나타나고 있으며, 알루미늄의 모재에 있어서는 성형중 재료의 두께변화를 크게 유발시키지만 재료의 경도변화에는 큰 영향을 미치지 못하고 오히려 가공경화성이 높은 STS304 재질에서 큰 변화가 발생되었다.

3.5 성형제품의 박리검사 결과

압접된 클래드 판재의 성형 후 접합 상태를 조사하기 위하여 본 연구에서는 전자현미경관찰법¹²⁾, 형광염색 침투탐상법¹³⁾, 접합강도시험법¹⁴⁾의 3가지 방법을 활용하였다.

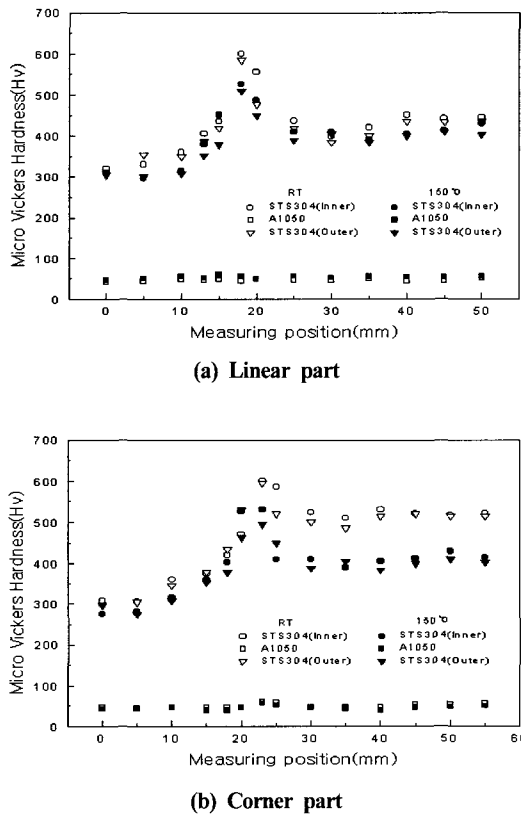


Fig. 8 Hardness distribution of a square cup by circular blank

Fig. 10에서 보는바와 같이 2000배로 확대한 전자현미경에 의한 관측에서 접합면상에서의 일부 재료유동이 관측되고, 박리현상은 보이지 않았다. 그리고 접합면상에

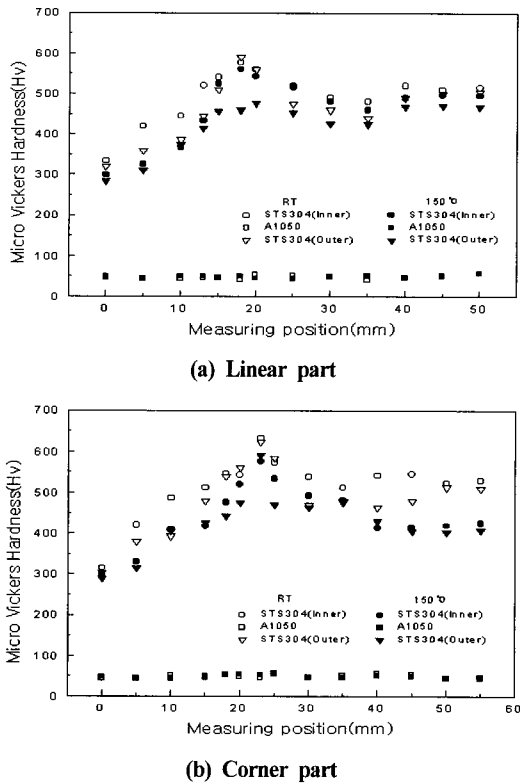


Fig. 9 Hardness distribution of a square cup by square blank

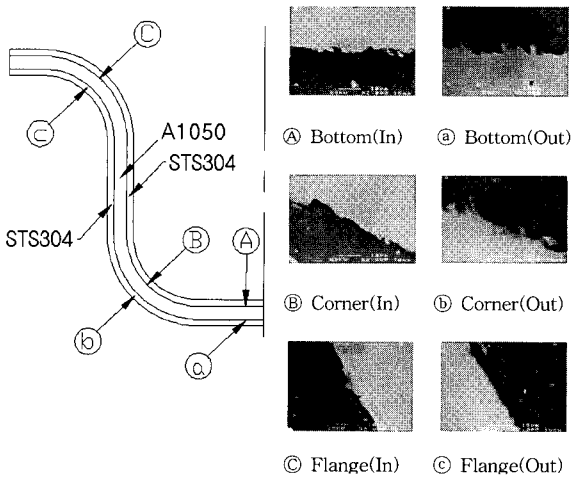


Fig. 10 Optical microscope photographs of crosssections of a drawn cup (magnification, $\times 2000$.)

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 1.5~2.0kgf, 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. 결론

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 최대 상대성형 깊이는 15 0°C에서 4.4로 상온에서의 3.4보다는 29%, STS430 클래드 판재의 경우 120°C에서 3.9로 상온에서의 3.4보다 15% 증가되었으며, 드로잉 하중의 변화는 성형온도에 따라 감소하였으며 블랭크 형상에 따라서는 사각블랭크가 원형블랭크보다 크게 나타났다.

(2) 파단과 크랙이 발생하기 쉬운 펀치코너 반경부에서의 두께 및 용기의 밀면과 측벽부에서의 두께분포는 상온가공일 때 보다 온간가공일 때 전체 변화폭이 적게 나타나고 더 균일하게 나타났다. 경도분포도 온간성형에서의 제품이 더 낮은 경도분포를 보이고 있으며, 모재인 알루미늄 판재에서는 변화가 거의 없었으나 외피재인 STS304 재료에서 경도값이 크게 변화되었다.

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

이상의 결론에서 스테인리스-알루미늄-스테인리스 클래드 판재의 사각컵 드로잉 실험을 통하여 온간 성형제품의 두께 균일화 및 낮은 경도분포는 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) 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卷, 第1號, pp. 72~78.
- (2) 최시훈, 김근환, 오규환, 이동녕. 1995, “스테인리스강 클래드 알루미늄 판재의 일축 인장시 변형거동”, 한국소성가공학회, 추계학술대회논문집, pp. 69~75.
- (3) 吉田總仁, 1998, “積層板のプレス加工”, 塑性と加工, 第39卷, 第454號, pp. 1102~1106.
- (4) 渡邊登臣, 1985, “ステンレスクラッド材の温間絞り加工”, 第36回 塑性加工聯合講演會, pp. 257~260.
- (5) 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卷, 第360號, pp. 13~19.
- (6) 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.
- (7) 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.
- (8) 김종호, 최치수, 나경환, 1995, “크랭크 프레스와 유압프레스에서 스테인리스 강판의 온간드로잉성 비교”, 한국소성가공학회지, 제4권, 제4호, pp.345~352.
- (9) 류호연, 김영은, 김종호, 2000, “스테인리스-알루미늄 클래드 강판재의 원형킵 온간 성형성 연구”, 대한기계학회논문집 A권, 제24권, 제1호, pp. 87~93.
- (10) 이항수, 오영근, 최치수, 2000, “오일팬용 재료의 온간성형 한계도에 관한 연구”, 한국소성가공학회, 제9권, 제6호 pp. 670~680.
- (11) 이재동, 최치수, 최이천, 김현영, 서대교, 2000, “크롬 코팅 처리 된 금형에서 박판의 온간 딥드로잉 성형성에 관한 연구”, 한국소성가공학회, 제9권 제2호 pp. 186~192.
- (12) 한국공업규격, KS D 0204-1992 “강의 비금속 개재물의 현미경 시험 방법”.
- (13) 한국공업규격, KS B 0816-1992 “침투탐상 시험 방법 및 결함 지시 모양의 등급 분류”.
- (14) 한국공업규격, KS D 0234-1992 “클래드 강의 시험 방법”.