

원형 클래드 판재를 이용한 정사각컵 온간 디프 드로잉성 비교

류호연* · 김영은** · 김종호*** · 정완진***

Comparision of Warm Deep Drawability of Square Cups Using Circular Clad Sheet Metals

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

Abstract

This study was carried out to investigate the warm deep drawability of square cups of clad sheet metals, by changing temperatures of die and blankholder and blank materials. Two kinds of clad sheet metals, STS304-A1050-ST304 and STS304-A1050-ST3430 were chosen 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 3.65 at 120°C which was 16% 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. Therefore, warm forming technique was confirmed to give better results in deep drawing of stainless clad sheet metal.

Key Words : Clad Sheet Metal, Warm deep drawability, Relative Drawing Depth

1. 서론

박판 금속의 디프 드로잉 가공은 통상 상온에서 실시하나 한번의 공정으로 성형 완성이 불가능할 때에는 여러 번의 재드로잉 또는 새로운 성형 방법을 개발 할 필요가 있다. 이러한 방법의 일환으로 금형의 일부를 가열 또는 냉각시키면서 금형 부품간의 온도차를 이용하는 온간 드로잉법⁽¹⁾이 제시되었는데 이 방법은 온도가 상승함에 따라 재료의 항복강도가 감소되어 플랜지 부위에서의 소성변형을 촉진시키고 펀치 코너부위에서는 소재를 냉각 시킴으로서 재료의 파단강도를 높여 제품을 깊게 드로잉 할 수 있도록 고안한 방법이다. 클래드 판재의 성형

성^(2,3)에 관한 주요인자로는 판두께 방향으로의 변형분포, 모재와 다른 재질과의 변형강도차, 모재와 압접 된 재질과의 접합강도등으로 서로 다른 재질들간의 복합적인 성형조건이 중요하다.

吉田⁽⁴⁾은 스테인리스-알루미늄의 2매판 클래드 판재를 가지고 다이에 접촉되는 부위를 스테인리스인 경우와 알루미늄인 경우를 성형하여 두께와 성형하중의 변화를 실험적으로 연구하였으며, 渡部⁽⁵⁾등은 펀치부위는 냉각, 다이와 블랭크홀더 부위는 가열하여 스테인리스-알루미늄 클래드 판재의 온간드로잉 가공으로 원형컵의 한계드로잉비, 두께변화, 경도분포 등의 조사를 통하여 클래드 판재의 성형성이 온도에 의존함을 제시하였다.

* 단국대학교 대학원 기계공학과

** 단국대학교 기계공학과

*** 서울산업대학교 금형설계학과

近藤⁽⁶⁾ 등은 알루미늄과 황동을 클래드 시킨 판재에 대해 평면펀치와 반구형펀치를 사용하여 원형컵 드로잉성과 제품의 두께변화를 조사하였다.

Kim^(7,8) 등은 스테인리스-알루미늄-스테인리스의 클래드 판재를 가지고 원형컵 드로잉성을 실험적으로 분석하여 상온보다 온간에서 클래드 판재의 한계드로잉비와 두께변화가 좋게 나타남을 비교하였으며, Lee⁽⁹⁾ 등은 오일 팬용으로 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⁽¹⁰⁾ 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 성형온도를 변화시키면서 온간성형성을 제품의 두께 및 경도분포 등을 통해, 클래드 판재의 최적성형조건을 실험적으로 조사 분석하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험재료의 특성

본 실험에 사용한 소재로는 STS304-A1050-ST304(이하 STS304 클래드 판재라 한다)와 STS304-A1050-ST304(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 제작된 것이다. 완성된 클래드 판재의 두께를 조사 해 본 즉, 스테인리스 판재는 0.39mm, 알루미늄 판재는 1.22mm로 대부분 강도가 낮은 알루미늄의 두께가 변형되면서(두께변화를 39%) 클래드 판재가 제조되었다.

클래드 판재와 원소재에 대한 온도변화에 따른 인장강도, 연신율, 항복강도 등의 기계적 성질은 선행연구⁽¹⁰⁾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 21 정도의 값을 나타냈으나, 클래드 판재로 제작되면서 경도변

화율이 STS304는 경도변화율이 20.6%, STS430은 9.7%, A1050은 120%로 각각 증가하여 상온에서의 낮은 성형성과 온간에서의 높은 성형성을 예측 할 수 있다.

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

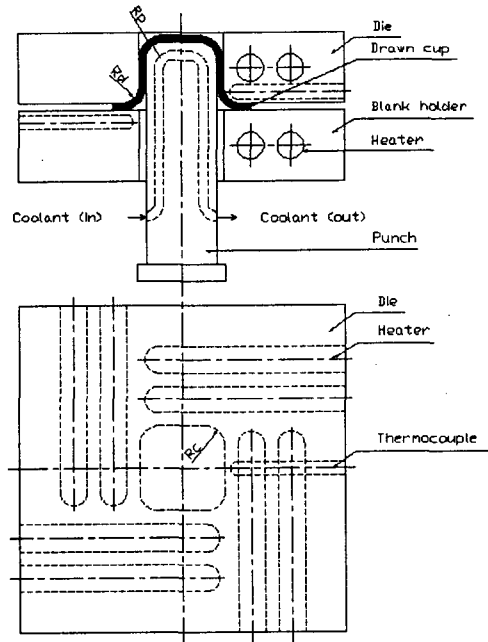


Fig. 1 Schematic view of warm drawing die

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	

2.2 드로잉금형 및 주변장치

사각컵 온간 디프 드로잉을 실험하기 위한 금형 구조는 성형 연구⁽⁸⁾에서 사용한 금형을 수정하여 금형부품 일부를 교체하여 사용한 금형 도면이 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.

온도계측은 다이와 블랭크홀더의 표면 온도로 다이코너 반경부가 시작되는 곳으로부터 5mm 떨어진 곳의 온도를 측정하여 성형 온도기준으로 하였

으며, 이를 기준으로 펀치 윗면의 온도를 측정한 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℃씩의 단계를 두어 180℃까지 6단계로 온도변화에 따른 드로잉 성형성을 조사하였다. 원형 블랭크의 크기는 직경 85mm를 기준으로 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 주

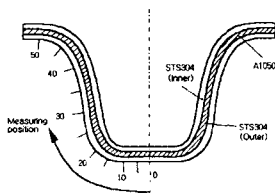


Fig. 2 Measuring position of thickness distribution

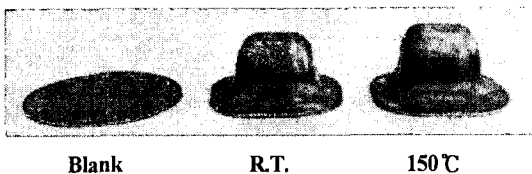


Fig. 3 Warm drawn cups of STS304-A1050-ST304

름 발생을 억제할 수 있도록 다이와 블랭크홀더 사이에 2.1mm 두께의 스페이서(spacer)를 끼우고 실험하였다. 실험시의 윤활제로는 내열성과 윤활성이 양호한 테프론(teflon) 필름을 시편의 양면에 고르게 접착하여 사용하였다.

성형품의 두께분포 측정은 Fig. 2에서 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 냉각시키고, 다이와 블랭크홀더를 가열시킨 상태에서 실험을 한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 성형온도에 따른 상대성형 깊이

상온과 온간에서 드로잉 된 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 대한 제품의 성형깊이(H)의 비율인 상대성형깊이로 비교 조사하였으며, Fig 4는 상대성형깊이를 나타내고 있다.

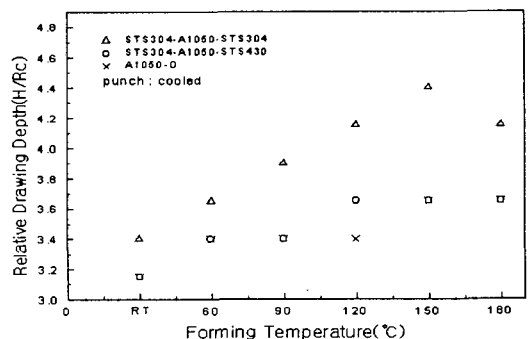


Fig. 4 Relative drawing depth of square cups for several working conditions

STS304 클래드 판재는 상대성형깊이가 4.4(이때의 블랭크 크기 : Φ120mm)이며, STS430 클래드 판재는 블랭크(Φ105mm)에서 3.65로 상온에서의 값과 비교 할 때 1.29배, 1.16배 각각 증가하고 있어, 클래드 강판재의 드로잉은 상온에서보다 온간에서 성형효과가 있는 것을 알

수 있다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 STS304 클래드 판재가 STS430 클래드 판재와 모재로 사용 된 알루미늄 판재보다 온간 성형성이 뛰어난 것을, 그리고 최적의 성형 온도로는 전자가 150℃, 후자가 120℃ 전후인 것으로 나타났다.

3.2 성형온도에 따른 용기의 두께변화

STS304 클래드 판재의 사각컵 제품에 대한 두 계분포 변화를 Fig. 5에 각각 나타내었다. 상온과 온간에서의 시편크기를 $\Phi 95\text{mm}$ 로 일정하게 하고 성형온도만 변화시켰을 때 용기의 직변부와 코너부의 두께분포를 보여주는 것으로, 하중이 집중해서 걸리는 펀치코너 반경부에서 두께가 얇아지고 플랜지 쪽으로 갈수록 두께가 두꺼워지고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 온간 성형 제품의 두께가 상온가공일

때보다 더 균일하게 되고 또한 파단이 발생하기쉬운 펀치코너 반경부의 두께가 덜 얇아지는 것을 알 수 있다. 클래드 판재의 경우, 제품의 두께 변형은 강도가작은 알루미늄 모재에서 대부분 변형되고 있는 반면, 외피재로 사용되는 스테인리스 판재의 두께는 거의 변형되지 않고 있다.

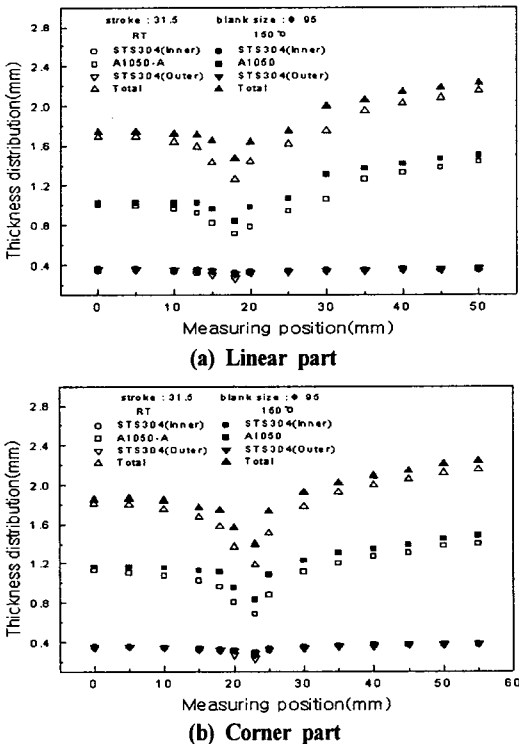


Fig. 5 Thickness distribution of a square cup

3.3 성형온도에 따른 용기의 경도변화

Fig. 6은 Fig. 5의 성형품 단면에 대해 마이크로버커스 경도를 측정 한 것으로 두께분포에서 가장 얇게 측정되었던 펀치코너 반경부에서의 경도분포값이 가장 높게 나타났다. 이 부분은 특히 온간 성형 제품보다 상온 성형제품의 경도값이 큰 폭으로 변화를 보이고 있어 더욱 깊게 성형 될 때에는 용기의 파단이 일어나기 쉬운 부분이다. 똑같은 크기의 블랭크를 사용할 때 온간에서의 성형 제품이 더 낮고 균일한 경도 분포를 보이고 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.

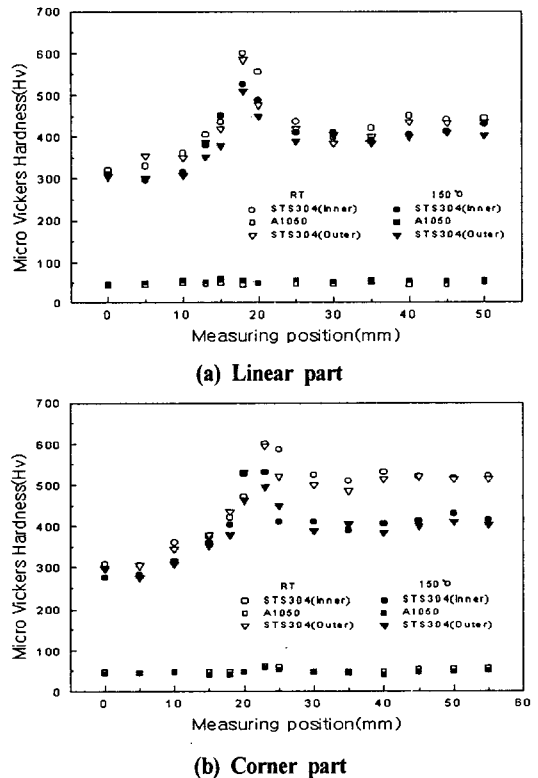


Fig. 6 Hardness distribution of square cup

4. 결론

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

(1) STS304 클래드 판재의 최대상대성형깊이는 150℃에서 4.4로 상온에서의 3.4보다는 29%, STS430 클래드 판재의 경우 120℃에서 3.65로 상온에서의 3.15보다 15.8% 증가되었다.

(2) 파단과 크랙이 발생하기 쉬운 펀치코너 반경부에서의 두께 및 용기의 밑면과 측벽부에서의 두께분포는 상온가공일 때 보다 온간가공일 때 전체변화폭이 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.

이상의 결론에서 스테인리스-알루미늄-스테인리스 클래드 판재의 사각킵 드로잉 실험을 통하여 온간 성형제품의 두께 균일화 및 낮은 경도분포는 제품의 품질을 좋게 할뿐만 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) 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, 第38卷, 第432號, pp.40~44.

(4) 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.

(5) 渡邊登臣, 1985, “ステンレスクラッド材の溫 簡絞り加工”, 第36回 塑性加工聯合講演會, pp.257~260.

(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卷, 第360號, pp.13~19.

(7) 김종호, 최치수, 나경환, 1995, “크랭크 프레스와 유압프레스에서 스테인리스 강판의 온간 드로잉성 비교”, 한국소성가공학회지, 제4권, 제4호, pp.345~352.

(8) 류호연, 김영은, 김종호, 2000, “스테인리스 알루미늄 클래드 강판재의 원형킵 온간 성형성 연구”, 대한기계학회논문집 A권, 제24권, 제1호, pp.87~93.

(9) 이항수, 오영근, 최치수, 2000, “오일팬용 재료의 온간성형 한계도에 관한 연구”, 한국소성가공학회, 제9권, 제6호 pp.670~680.

(10) 이재동, 최치수, 최이천, 김현영, 서대교, 2000, “크롬 코팅 처리 된 금형에서 박판의 온간 딥드로잉 성형성에 관한 연구”, 한국소성가공학회, 제9권, 제2호 pp.186~192.