

온간 성형법을 이용한 스테인리스 버트 제품의 성형한계 향상에 관한 연구

김 승 수, 나 경 환, 김 종 호*, 한 창 수**

생산기술연구원 생산기반기술 실용화 센터

* 서울산업대학교 금형설계학과

** 한양대학교 공과대학 기계공학과

A study on the Improvement of Drawing Limit in Stainless Butt Products using Warm Deep Drawing Process

Seung Soo Kim, Kyoung Hoan Na, Jong Ho Kim* and Chang Soo Han**

Production Technology Application Center, KAITECH

* Department of Die and Mould Design, Seoul National
Polytechnic University

** Department of Mechanical Engineering, Hanyang university

ABSTRACT

The rapid progress of automobile industry has led to a demand for sheet metal products and the new forming technology for complex product is required. In Deep Drawing process of steel sheet, especially stainless steel sheet at room temperature, some intermediate annealing need to be added to lessen strain hardening effect.

The present study is concerned with the warm deep drawing of stainless steel sheet. In order to reduce the number of working process, the limit drawing ratio is considered as main parameter. In this study, the effect of process variables such as blank holder force, working temperature and lubricant on limit drawing ratio is investigated. Experiments are carried out for the hemispherical and square shape at room and warm temperature respectively. The Drawing loads and thickness deviation according to process variables are measured. As the result of applying those experimental data to the commercial butt product, the number of process can be reduced and good quality of products can be obtained.

1. 서론

박판 프레스 성형에 있어서의 디프드로잉 가공은 통상 상온에서 실시하나 허용응력 범위내에서의 안정된 소성변형을 해야 하므로 변형중의 가공경화 현상을 줄이기위한 중간 풀림 열처리 등 여러 공정을 필요로 한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 외국에서는 금형을 적정한 온도까지 가열 또는 냉각하여 드로잉 성형성을 향상시키는 온간 성형법에 대해 실험적으로 연구가 진행되고 있으며 일부 실용화 되고 있다. (1~10)

특히 스테인리스 강판의 온간성형 방법은 드로잉다이와 블랭크 홀더에 히터를 설치하여 어느 적정 온도까지 가열, 유지시키고 동시에 펀치는 냉각시켜 성형하는 방법이다. 이 방법은 펀치를 냉각시킴으로써 펀치 코너 반경에서의 소재에 대한 인장파단을 방지하고 플랜지부위를 가열하여 이 부위에서의 변형저항을 감소시켜 압축력에 의한 주름 발생을 억제하여 드로잉성을 향상시키는 방법이다. 이러한 국부가열 기술을 이용함으로써 얻을 수 있는 프레스 성형의 장점을 기술하면, 첫째, 한계 드로잉비의 증가로 인해 성형 한계가 개선된다. 또 복잡한 형상의 제품 성형이 가능하며 취성재료의 성형이 쉽고, 성형성 향상으로 공정수를 단축할 수 있다. 둘째, 전단 가동시의 유효 전단면 증가, 성형품의 스프링 백 감소로 치수와 형상 정밀도가 향상된다. 셋째, 프레스 성형시 소재에는 응력 불균일에 의해 재료의 두께가 변하는 것이 필연적이지만 비교적 균일한 두께와 강도를 갖는 제품을 얻을 수 있다. 국부 가열방식은 성형 전, 성형중, 성형후로 분류할 수 있으며 본 논문에서는 성형중 가열방식을 이용하여 기존의 상온에서 1차 드로잉, 중간 풀림 열처리, 2차 드로잉 등 3공정에 의하여 생산되던 스테인리스 버트(Butt) 제품을 한번의 공정으로 완제품을 얻기 위해 적정 성형온도, 블랭크 홀딩력, 성형속도 및 윤활제 등의 영향을 조사하였다.

2. 기초 성형성 실험 및 결과

정사각형 및 반구형의 실험용(semi-prototype) 금형을 C형 싱글 크랭크 프레스에 장착하여 실험할 수 있도록 설계 제작하여 최적 성형 온도를 조사하였다. 블랭크 홀더와 다이에는 전기히터를 삽입하여 상온에서 200℃ 까지 가열할 수 있도록 하였고 펀치는 상온 이하의 온도를 유지할 수 있도록 제작하였다.

그림1의 (a),(b)는 STS304스테인리스 강판을 소재로한 정사각형 컵과 반구형 컵의 성형온도에 따른 최대 성형 깊이를 나타내고 있다. 펀치는 냉각시키고 블랭크 홀더와 다이는 110~120℃로 가열 유지시킬 때 가장 좋은 성형성을 나타내고 있다. 이 결과는 상온에서 성형할 때 보다 약 40%정도 증가된 성형깊이이며 두께 분포도 상온 성형일 때 보다 온간 성형일때가 더 균일한 것으로 나타나고 있다. 그림2는 반구형 컵의 성형온도에 따른 두께 분포를 나타내고 있다.

3. 상용 버트 (Butt) 제품 금형의 설계, 제작 및 실험

기초 성형성 실험 결과를 기초로 기존의 상온 작업에서의 1차 드로잉, 중간폴림 열처리, 2차드로잉 등 3번의 공정에 의하여 생산되던 500mm×295mm×100mm(높이) 크기의 STS304, 스테인리스(두께0.7mm) 버트 용기를 한번의 온간 성형 공정으로 완제품을 얻기 위해 그림3과 같이 블랭크 홀더와 다이는 열간 합금공구강(STD61)으로, 펀치는 냉간 합금 공구강(STD11)으로 온간 드로잉 금형을 설계, 제작하였다.

3.1 금형 가열장치 및 냉각장치

블랭크 홀더와 다이를 실온에서 부터 300℃까지 가열시킬 수 있도록 시이즈 히터 (Sheath heater, 25.12 Watt/cm)를 $\phi 20 \times l 600(8EA)$, $\phi 20 \times l 420(8EA)$ 의 용량으로 설계하였다. 또한 펀치 냉각장치는 펀치 내부 주위에 터널홈을 만들어 부동액을 순환시켜 0℃~5℃의 온도를 유지하도록 하였다.

3.2 상용버트 제품의 실험

본 실험은 제품의 형상 및 치수가 결정되어 있기 때문에 성형성 향상을 목적으로 펀치코너 반경이나 다이 코너 반경 등을 임의로 변화시킬 수는 없었다. 따라서 제품 형상에 영향을 주지 않는 블랭크 형상, 블랭크 홀딩력, 성형속도 및 윤활제등에 의한 최적의 성형조건을 조사하였다. 사용기계는 300ton 유압프레스를 사용하였으며 금형과 프레스 사이에는 열전달 차단을 목적으로 냉각판을 설치하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 블랭크 형상

가로 700mm 세로 500mm의 직사각형 블랭크와 C60(chamfer량), C80mm의 8각형 블랭크를 준비하여 성형 하였는데 블랭크 형상에 대한 영향은 크게 나타나지 않았으나 8각형 블랭크의 경우가 다소 좋은 성형성을 보였다.

4.2 윤활제

테프론 필름, 고밀도 폴리에틸렌, 저점도 드로잉 오일 및 고점도 드로잉 오일 등을 준비하여 실험해 본 결과 인화점 230℃, 유동점 -14℃, 점도 (CST50℃) 90의 고점도 드로잉 오일(모델명 KOC D-300)을 사용했을 때 가장 좋은 성형성을 보였다. 테프론 필름의 경우 크기가 작은 실험용 금형의 제품에서는 탁월한 성형성을 보였으나 작은 폭의 띠를 성형소재 전면에서 걸쳐 수습장 붙여야 하는 이유로 이음매에서 윤활막이 파괴되고 또한 고가이기 때문에 실용화 하기에는 어려운 점이 있다. 그리고 고밀도 폴리에틸렌 및 저점도 드로잉 오일은 내열온도가 부족하고 완전 유체 윤활이 어려워 제품 표면에 스크래치 (scratch) 현상이 발생하였다.

4.3 성형 온도의 영향

그림4는 냉간 성형시 플랜지 부위의 큰 변형저항으로 일어나는 파단 현상을 보여주고 있으며, 그림5는 온간 성형 제품으로 편치는 0℃로 냉각하여 파단 저항을 증가시키고 플랜지 부위는 110℃로 가열하여 변형 저항을 감소시킴으로써 양질의 제품을 얻을 수 있었다.

성형온도가 150℃ 이상이 되면 국부적으로 제품이 변색되고 인장강도와 연신률의 저하로 성형성의 감소 및 후처리의 어려움 등이 있으며, 또한 금형의 클리어런스도 커져서 제품 측벽에 주름(wrinkle)이 발생하였다.

그림6은 냉간 성형시 1차드로잉, 중간플립 열처리, 2차 드로잉 등 3공정으로 생산된 제품과 온간 성형의 1공정으로 생산된 제품과의 두께 분포를 나타내며 온간성형 제품의 두께가 보다 더 균일하며 품질이 향상됨을 알 수 있었다. 두께의 균일화는 품질향상과 재드로잉 및 리스트라이킹 등 2차 가공에 있어서 성형성의 향상을 기대할 수 있다. 냉간성형 제품의 경우는 1차 성형시에 인장력에 의한 두께 감소가 생긴 후 2차 성형으로 또 한번의 두께 감소가 발생하여 온간성형 제품과 비교하여 약 10% 정도 더 얇아지는 현상을 나타내었다.

4.4 성형 속도 및 블랭크 홀딩력

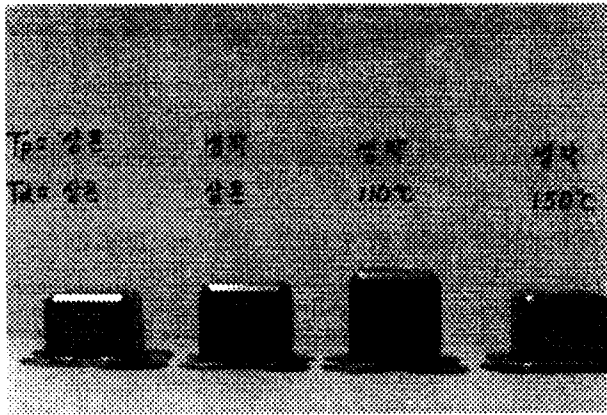
실험에 이용된 유압 프레스의 제한속도 범위인 1mm/sec~5mm/sec에서 성형속도를 변화시켜 가면서 실험해 본 결과 이 범위내에서는 성형 속도의 영향은 크지 않은 것으로 나타났으나 저속일 때가 보다 안정된 성형을 보이는 경향을 나타냈다. 블랭크 홀딩력은 88톤(0.44kg/mm²)일 때 가장 좋은 성형성을 보였다.

5. 결론

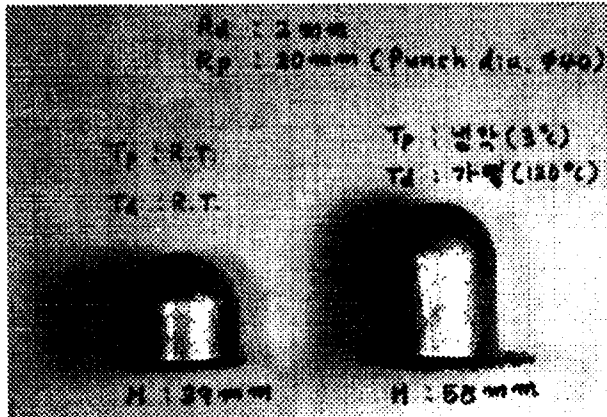
1. 상용제품에 온간 성형법을 적용해 본 결과 기존의 3공정에 의하여 생산되던 제품을 1공정으로 완제품을 생산할 수 있게 되어 원가절감, 생산성향상 및 제품의 품질을 향상 시킬 수 있었다.
2. 예비 성형 실험을 통해 적정 성형 온도를 알수 있었으며 상용금형 설계시 클리어런스, 금형소재 및 가이드 방식을 결정 하는 데 있어 중요한 자료가 되었다.
3. 본 실험에 사용한 드로잉 오일은 스테인레스 드로잉 및 파이프 인발용 윤활제로 점도가 높아 취급이 어렵고 오래 사용할 경우 금형에 소착되는 현상이 생겨 생산성의 저해 요인이 되었다. 따라서 이러한 저해 요인을 해결할 수 있는 윤활제의 개발이 요구된다.
4. 금형 소재를 동-알루미늄 합금강으로 설계, 제작하면 열전도 및 윤활성이 좋아 보다 안정된 성형이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 町田 輝史, “局部加熱에 의한 薄板 加工의 高附加價”, 월간 PRESS 기술, 제1호, 1990, pp. 26-35
2. 渡邊 登臣, “ステンレス クラッド材의 溫間 絞り加工”, 第 36회 塑性加工 聯合講演會, 1985, pp. 257-260.
3. 野原 清彦, 小 野寬, “ステンレス薄鋼板의 溫間プレス成形”. 川崎製鐵技報, 第17卷, 第3號, 1985, pp. 122-130.
4. 大上 哲郎, 武智 弘, 古野 嘉邦, “薄鋼板의 溫間成形特性의 檢討”, 塑性と加工, 日本塑性加工學會誌, 第28卷, 第314號, 1987, pp. 225-231.
5. 大上 哲郎, 武智 弘, 古野 加邦, “溫間での角筒深絞り成形性”, 塑性と加工, 日本塑性加工學會誌, 第28卷, 第318號, 1987, pp. 706-711.
6. 井上 捻, “熱間成形およびクリーブ成形”, 塑性と加工, 日本塑性加工學會誌, 第20卷, 第218號, 1979, pp. 184-191.
7. Shipton, M.H. and Roberts, W.T., “Hot deep drawing of titanium sheet”, materials science and technology, Vol.7, 1991, pp. 537-540.
8. 加藤 健三, “알루미늄·티탄 合金의 溫間 PRESS 成形”, 월간 PRESS 기술, 術情報株式會社, 제3권, 제1호, 1990, pp. 90-93.
9. 管又 信, 金子 純一, “알루미늄系 材料의 局部 加熱 디입 드로잉”, 월간 PRESS 기술, 技術情報株式會社, 제3권, 제1호, 1990, pp. 45-51.
10. 김종호, 원시대, 구분권, 김승수, 원영덕, 심경섭, ‘인바소재의 온간 성형을 위한 4각용기 드로잉 공정의 개발에 관한연구’ 서울산업대학, 1989.



(a) square cup



(b) hemispherical cup

Fig.1 Variation of maximum drawing depth with working temperature

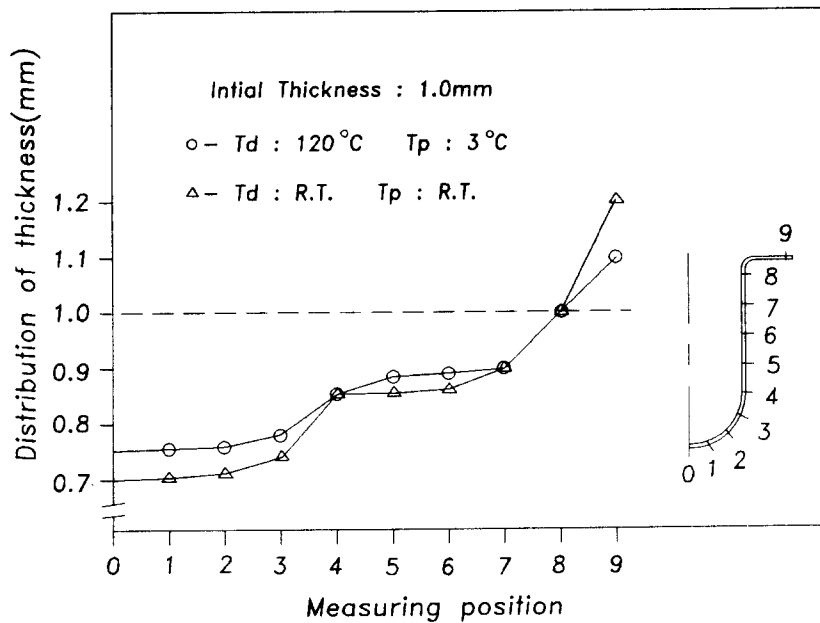


Fig.2 Thickness distribution of hemispherical product with working temperature.

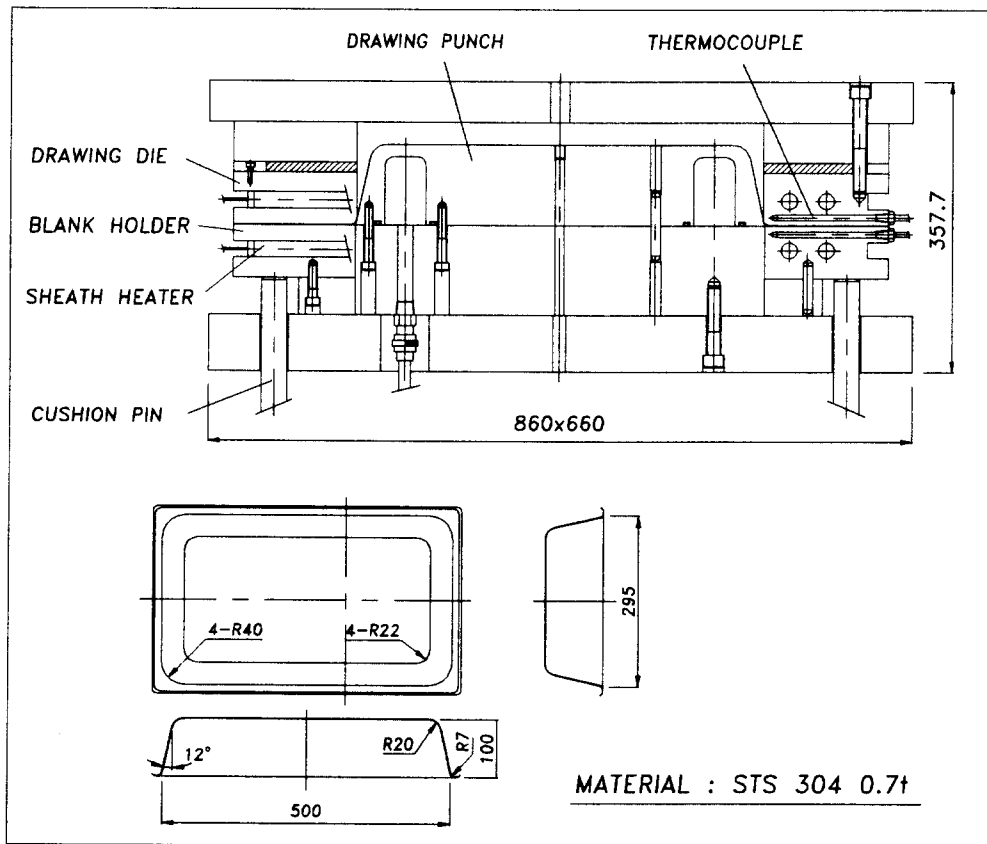


Fig.3 Sectional view of warm deep drawing die and drawing of butt product

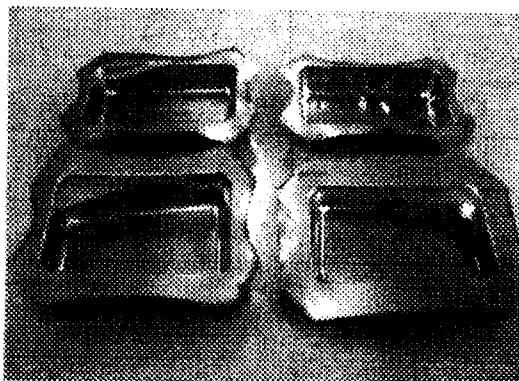


Fig.4 Fracture of flange part at room temperature

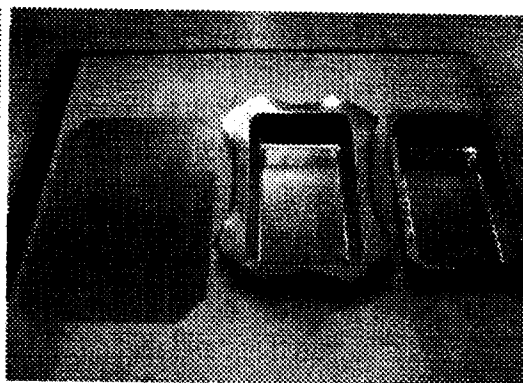


Fig.5 Blank and Products before and after trimming(Warm working condition, $T_p=0^\circ\text{C}$, $T_d=110^\circ\text{C}$)

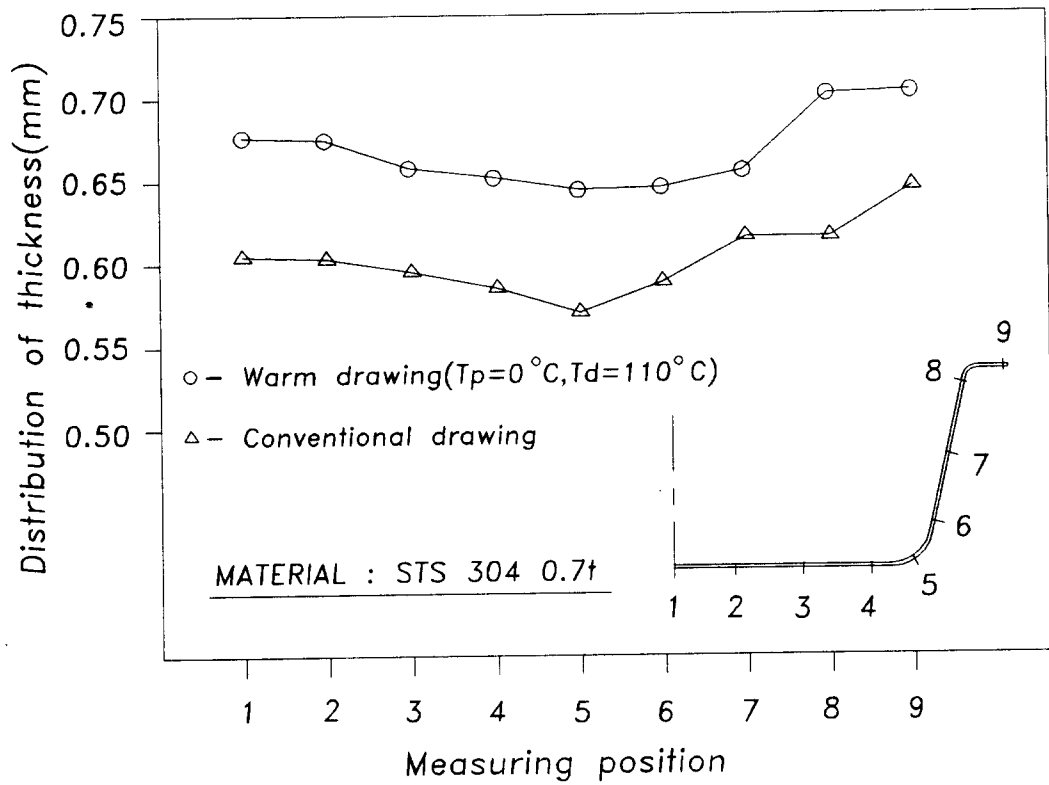


Fig.6 . Distribution of average thickness of drawn butt for two different working conditions