

크랭크 프레스와 유압 프레스에서 스테인리스 강판의 온간 드로잉성 비교

김종호* · 최치수* · 나경환**

* 서울산업대학교 금형설계학과

** 생산기술연구원 생산기반기술센터

Comparison of warm deep drawability of stainless sheet between crank press and hydraulic press

Jong Ho, Kim* · Chi Soo, Choi* · Kyoung Hoan, Na**

* Department of die and mold design, Seoul National Polytechnic University

** Production technology center, Korea Academy of Industrial Technology

ABSTRACT

Warm deep drawing for optimum forming conditions to give the maximum drawing depth is investigated and compared with the results at room temperature. Experiments which draw square cups of STS 304 stainless steel sheet under the constant lubrication condition of teflon film are made both in a crank and hydraulic press for two kinds of specimens. The maximum drawing depth at warm forming condition reaches 1.4 times the drawing depth at room temperature in a crank press, whereas 1.6 times in a hydraulic press, and also more uniform distribution of thickness in case of warm deep drawn cup is observed. The effects of other factors on formability, such as forming temperature, speed of press and cooling of punch are examined and discussed.

1. 서 론

스테인리스 강판의 드로잉 가공은 통상 상온에서 이루어지고 있으나 최근 제품의 생산성과 품질 향상을 위해 온간 영역에서 작업하는 새로운 온간 가공 방법이 주목을 받고 있다. 이 방법은 펀치와 다이 주변 요소(다이, 블랭크홀더) 사이에 온도 차이를 주어 펀치 부위는 냉각하고 다이와 블랭크홀더 부위는 가열하여, 제품의 파단 강도를 높

임과 동시에 다이 표면상의 재료 유입을 쉽게 하도록 하여 드로잉 성능을 향상시킨 것이다. 이에 관한 연구로서는 Watanabe¹⁻²⁾ 등은 펀치를 0~10℃로 냉각시킴과 동시에 다이와 블랭크홀더는 상온에서 150℃까지 가열 변화시키면서, 소재의 인장 강도와 연신율의 온도 의존성, 드로잉 성형 온도와 한계 드로잉비와의 관계를 연구한 바 있으며, 그 결과 펀치 부위의 냉각과 다이 주변 부위의 가열에 의한 드로잉 성형성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. Nohara³⁾ 등은 스테인리스 강판의 프레스 성형에 있어서 드로잉 및 리스트라이크(restrike)성에 대한 온간 효과를 검토하였고, Ohwue⁴⁻⁵⁾ 등은 연강판의 청열취성(blue brittleness) 효과를 응용하기 위한 온간 영역으로 온도 변화에 의한 기계적 성질 변화를 조사하고, 또한 펀치와 다이를 별도로 가열할 수 있도록 금형을 설계, 제작한 후 강중에 포함하고 있는 고용탄소와 질소 함량에 따른 성형 효과를 재질과 온도 변화에 따라 원형컵과 사각 용기에 대해 드로잉성을 조사한 바 있으며, Shinagawa⁶⁾ 등은 STS 304 스테인리스 강판의 온간 디프 드로잉에 있어서 소성변형, 온도 분포, 가공 유기 마르텐사이트 조직 변화의 상호작용을 고려하여 유한 요소 시뮬레이션으로 비교, 검토하였다. Kim⁷⁻⁸⁾ 등은 단동 크랭크 프레스에서 STS 304 스테인리스 강판을 이용하여 원형컵과 정사각 용기 드로잉에 있어서 온간과 상온에서의 한계 드로잉비를 비교, 분석하여 최적의 성형 조건을 조사한 바 있으며, Leighton⁹⁾ 등은 박판의 성형성에 따른 금형 온도의 효과에 대한 연구로 다이는 상온으로 유지하고 펀치는 상온~5℃로 온도를 유지하여 성형 높이를 50%까지 증가시킨바 있다. 본 연구에서는 STS 304 스테인리스 정사각 제품에 대한 온간 성형 특성을 크랭크 프레스와 유압 프레스에서 각각 시편의 형상과 작업 조건을 변화시키면서 최적의 작업 조건을 조사하고 상온 제품과의 성형성과 두께 분포 등을 비교, 검토하고자 한다.

2. 실 험

2.1 인장 시험

0.3mm 두께의 STS 304 스테인리스 강판을 풀립 처리하지 않은 압연 상태 그대로의 시편을 가지고 상온에서 150℃까지 변화시키면서 인장 시험을 하였다. 시편은 소재의 압연 방향에 따라 0°, 45°, 90° 방향으로 각각 준비하여 시험을 한 후 평균치를 구했으며 이들의 결과가 그림1에 주어져 있다. 일반적으로 온도가 증가함에 따라 인장 강도와 항복 강도 그리고 연신율이 감소하고 있는 경향을 나타내고 있으며 120℃ 이상이 되면 거의 일정한 값을 나타내고 있다.

2.2 드로잉 금형 및 주변장치

사각 단면 형상을 갖는 제품의 온간 성형성에 대한 조사를 하기 위해 정사각(40x40mm) 단면을 갖는 온간 금형을 설계, 제작하였으며, 그 주요 치수는 표 1에 주어져 있다. 이 표에서의 Rp, Rd는 펀치와 다이의 길이 방향으로의 코너 반경을 나타내고, Rc는 횡단면에서의 코너 반경을 나타내고 있다.

그림 2는 본 연구에 사용된 온간 드로잉 금형의 개요도를 보여주고 있다. 유압 프레스에 장착된 다이 쿠션으로 블랭크홀딩력을 조절하기 위해 펀치와 다이의 위치가 뒤바

편 금형 구조로 되어 있다. 다이와 블랭크홀더에 각각 8개의 카트리지(cartridge) 히터와 온도를 감지할 수 있는 열전대를 각각 1개씩 장입하여 온도 조절 장치에 의해 온도를 조절할 수 있도록 하였고 펀치는 냉각장치를 이용하여 -5°C 의 냉각수를 순환시키면서 냉각되도록 하였다.

2.3 실험

블랭크 형상은 그림 3에 나타낸 것과 같이 소재 형상의 효과 비교를 위하여 원형과 정사각형의 두 종류를 준비하였으며, 그림 3에 나타나 있는 치수는 본 실험에 있어서 가장 깊은 성형품을 얻을 때의 블랭크 치수이다. 블랭크 크기는 정사각형의 경우 한 변이 74mm를 기준으로 점진적으로 증가시켜 가면서, 그리고 원형의 경우엔 직경 80mm를 기준으로 지름 5mm씩 증가시켜 가면서 제품 표면에 파단이 발생될 때까지 계속 실험하면서 한계성형깊이를 구하였다. 실험은 시편의 형상, 프레스의 종류 이외에 프레스 작업속도와 작업온도를 변화시키면서 최적의 성형조건을 조사하였으며 윤활제로는 테프론 필름(teflon film)을 시편의 양측에 접착하여 일정하게 사용하였다.

3.결과 및 토의

3.1 가공 온도와 성형성

사각 용기는 원형처럼 드로잉비의 개념을 이용하여 성형성을 판단하기 힘들기 때문에 최대 성형 깊이를 성형성의 척도로 삼아 비교 조사하였다. 그림 4는 다이와 블랭크홀더의 가열 온도(T_d , T_b)에 따른 한계 성형 깊이를 나타내고 있는 것으로 그림 4의 a)에서 보는 바와 같이 크랭크 프레스에서는 120°C 전후에서 최대의 성형성을 보여 주고 있으며, 상온에서는 최대 성형 깊이가 32mm인데 비해, 온간에서는 최대 45mm까지 드로잉할 수 있음을 알 수 있다. 성형 온도를 120°C 이상으로 증가시키면 성형 한계가 떨어지는데 이 원인으로서 윤활제의 성능이 떨어지고 다이와 블랭크홀더의 접촉시 크랭크 프레스의 빠른 속도에 따른 충격 효과로 인해 순간적인 재료의 유입이 빨라져 이에 따른 주름(wrinkle) 발생이 일어나게 되면서 다이 코너 부위에서 파단이 발생되어 더 이상 성형할 수 없게 되기 때문이다. 이에 대한 설명이 그림 5에 나타나 있다. 즉 성형 온도가 낮을 때는 재료의 강도 감소 효과가 적고 유입 저항이 증가되기 때문에 일반적인 드로잉 작업에서와 같이 펀치 코너 부위의 소재 강도 부족으로 발생하는 파단현상을 보여주고 있으며, 작업온도가 높아지면 소재의 강도 감소로 인해 원주방향으로 1.1mm 높이의 주름이 발생하여 틈새 사이로 유입이 인되면서 다이 코너 부위에서의 파단을 나타내고 있다. 이 그림에서의 주름 높이는 재료 두께를 포함한 최대 높이를 나타내는 것으로 사용 재료 두께 0.3mm, 펀치와 다이 사이의 틈새 0.45mm를 감안할 때 주름 최대 높이가 1.0mm 이하가 되면 발생된 주름이 일부 아이어닝(ironing) 되면서 제품이 성형될 수 있음을 알 수 있다. 그림 4의 a)의 결과를 보면 블랭크 형상은 정사각형보다는 원형이 더 좋은 성형성을 나타내고 있지만 작업 온도가 150°C 이상으로 올라가게 되면 앞에서 설명한 바와 같이 정사각 소재보다 원형 소재의 유입이 더 빨라지게 되면서 파단이 발생되어 성형 깊이를 증가시킬 수 없게 된다.

그림 4의 b)에는 유압 프레스에서의 온도에 따른 성형 깊이를 보여주고 있다. 크랭크 프레스에 비해 상온(R.T.)에서는 최대 성형 깊이가 31mm인데 반해, 온간에서는 최대 성형 깊이 53mm까지 드로잉할 수 있었다. 그 주된 원인으로는 크랭크 프레스는 작업속도 25spm(평균 속도 87.2mm/sec)으로 빠르고 동시에 스트로크 위치에 따라 속도 변화가 큰 반면, 유압 프레스의 속도는 10.5mm/sec의 저속으로 균일한 압력을 부가하기 때문에 재료의 유입 속도가 느려져 주름 발생을 충분히 억제하여 더욱 향상된 성형 깊이를 얻을 수 있었다. 또한 크랭크 프레스에서는 충격 효과에 따른 주름에 의해 파단 위치가 펀치 코너 부위에서 다이 코너 부위로 이동하나 유압 프레스에서는 저속으로 작업하기 때문에 파단이 펀치 코너 부위에서만 일어나는 것을 알 수 있다.

3.2 가공 속도의 영향

그림 6은 기계식 프레스에서의 가공 속도 영향에 대한 결과를 보여주고 있다. 최대 성형 깊이는 성형 온도 120℃, 프레스 속도 25spm일 때이고 이 속도보다 더 빠르게 되면 프레스의 충격 효과로 인해 드로잉성이 감소된다. 또한 속도가 떨어지게 되면 프레스 플라이휠(flywheel)의 에너지 용량 부족으로 인해 디프 드로잉 작업이 어렵게 되면서 성형성이 감소한다. 즉 크랭크 프레스를 사용하는 경우엔 이와 같은 현상으로 인해 최적의 작업 속도가 존재함을 알 수 있다. 그러나 본 실험의 유압 프레스에서는 속도 변화를 줄 수 없지만 프레스 속도가 10.1mm/sec의 저속으로 일정하게 유지되면서 성형하기 때문에 크랭크 프레스보다 더 깊은 성형을 할 수 있다.

3.3 성형 제품의 두께 분포

그림 7과 그림 8은 크랭크 프레스와 유압 프레스의 상온 및 온간 드로잉 제품의 두께 분포를 각각 나타내고 있다. 여기에서는 펀치 자체의 냉각 유·무에 따른 성형성 효과를 파악하기 위해 다이와 블랭크홀더는 가열된 상태에서 펀치 내에 냉각수를 순환시킨 경우와 그렇지 않은 경우 두 경우에 대해서도 실험을 수행하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 프레스 종류에 관계없이 펀치를 냉각시켜 온간 드로잉 하는 것이 제품의 밑면과 측벽의 두께 편차가 적으며 보다 균일한 분포를 보여주고 있다.

그림 7의 a)는 정사각 제품의 중심 단면에서의 두께 분포이고 b)는 제품의 대각선 방향으로의 두께 분포이다. 변형이 심하게 일어나고 있는 대각선 코너 부위에서 두께가 가장 얇아지는 것을 알 수 있고 이 곳이 바로 파단의 시작점이 되는 것이다. 온간 제품은 상온제품에 비해 펀치 바닥의 두께는 더 두꺼워지고 측벽부에서 플랜지부까지는 더 얇아지면서 전체적으로 제품의 두께 변화가 작게 나타나고 있다. 이것은 온간 드로잉의 경우 펀치 바닥 부위를 냉각함으로 이 부위의 재료 연신이 억제되고 측벽 및 플랜지 부는 가열되어 소재의 강도가 떨어져 유동성을 향상시키기 때문에 두께가 얇게 되는 것이다. 성형품의 두께 균일화는 품질을 좋게 할뿐만 아니라 재드로잉, 굽힘, 리스트라이킹 등의 2차 가공에 있어서 성형성 향상을 기대할 수 있다.

그림 8은 그림 7과 비슷한 경향을 나타내지만 크랭크 프레스보다 두께 산포가 더 적고 균일한 분포의 좋은 품질을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구는 크랭크 프레스와 유압 프레스에서 STS 304 스테인리스 강판의 디프 드로잉성을 개선하기 위한 최적 성형 조건에 대해 실험적 연구를 하였으며, 이들의 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째로 스테인리스 강판의 디프 드로잉성은 편치를 냉각하고, 다이와 블랭크홀더를 120℃로 가열하여 온간 성형한 경우 크랭크 프레스는 상온 제품보다 약 1.4배 유압식 프레스는 약 1.6배 더 깊은 제품을 얻을 수 있었다. 둘째로 크랭크 프레스에서는 블랭크 형상이 다이 주변 요소의 온도 범위에 따라서 드로잉성이 달라지지만 통상의 작업온도에서는 원형 블랭크가 약 10% 더 좋은 결과를 나타내고 있으나, 유압 프레스에서는 블랭크 형상에 관계없이 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다. 셋째로 크랭크 프레스보다 유압 프레스가 전반적으로 더 깊고 균일한 두께 분포를 얻을 수 있어 정사각 용기의 온간 디프 드로잉은 크랭크 프레스보다 유압 프레스가 적용 가능성이 높다고 판단된다. 넷째로 정사각 용기의 드로잉은 코너 부위와 직선부위의 변형이 다르고 소재의 변형 거동이 복잡하기 때문에 원형 드로잉에 비해 성형이 어렵고, 다공정을 요구하는 사각 용기의 드로잉에 온간 드로잉법을 채용하게 되면 생산성과 품질 향상을 기대할 수 있음을 보여 주었다.

참 고 문 헌

- [1] 渡部 豊臣, : 스테인리스 鋼板의 溫間絞り加工法, 塑性と加工, 第33卷, 第375號, (1992), pp.396-403.
- [2] 渡部 豊臣, 後藤 隆夫, 鈴木 誠一, 坂井 修, 山崎 榮一, : 스테인레스 크라프트材의 溫間絞り加工, 第36回 塑性加工聯合講演會, (1985), pp. 257-260.
- [3] K. Nohara, Y. Watanabe and K. Yamahata, : Warm press forming of stainless steel sheets, Proceed. 1st Int. Con. on New Manufacturing Technology, Chiba, Japan, (1990), pp. 533-537.
- [4] T. Ohwue, H. Takechi and Y. Furuno, : Temperature dependence of tensile properties and drawability of steel sheets in warm working condition, JSTP, vol.28, No.314, (1987), pp. 225-231
- [5] T. Ohwue, H. Takechi and Y. Furuno, : Deep drawability of square shells in warm working condition, JSTP, vol.28, No.318, (1987), pp. 706-711
- [6] K. Shinagawa, T. Takeoka, K. Mori, and K. Osakada, : Finite element simulation of warm deep drawing of type 304 stainless steel with deformation-Induced Transformation, JSTP, vol.34, No.390, (1992), pp. 794-799
- [7] J. H. Kim, C. S. Choi, B. Y. Jeong and G. H. Lee., : Deep drawing of stainless steel in warm working condition using a single crank press, Proceed. 4th Int. con. on Technology of Plasticity, Beijing, China, (1993), pp. 1691-1694.
- [8] 김종호, 최치수, 심경섭, 김승수, : STS 304 스테인리스 정사각 용기의 온간 디프 드로잉에 관한 연구, 서울産業大學校論文集, 第40輯, (1994), pp. 145-153.
- [9] D. E. Leighton, D. Lee, : The effect of tooling temperature on the formability of sheet steel, Proceed. 5th Int. Con. on Metal Forming 1994, Birmingham, UK,

Table 1 Size of die components

Tool	Material	Size(mm)	Rp	Rd	Rc
Punch	STD11	40.0×40.0	5.0	-	5.0
Die	STD61	40.9×40.9	-	5.0	5.45
Blank holder	STD61	40.05×40.05	-	-	5.0

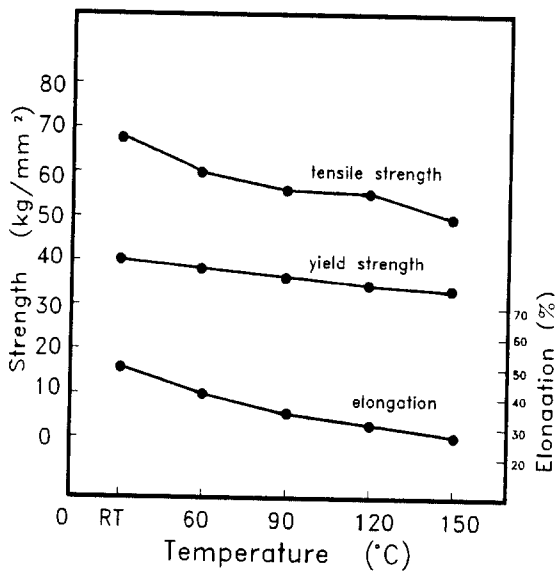


Fig. 1 Influence of temperature on mechanical properties of STS 304 stainless steel

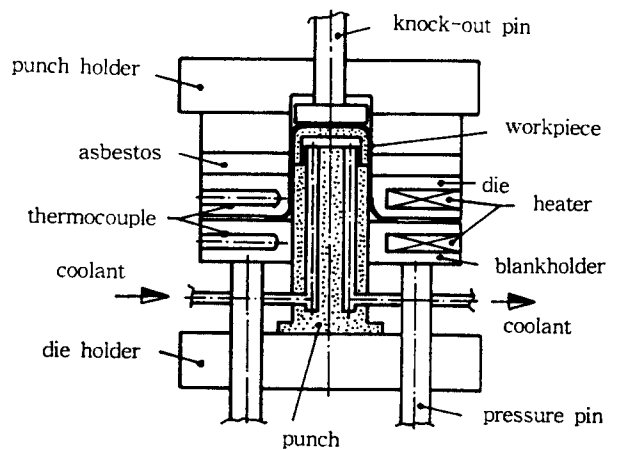


Fig.2 Schematic view of warm drawing die

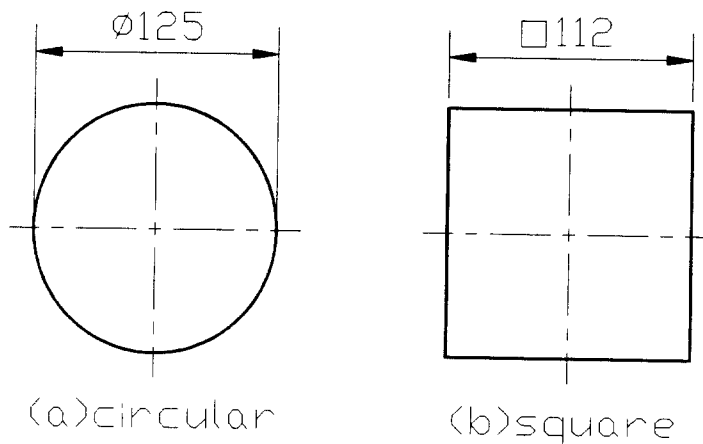
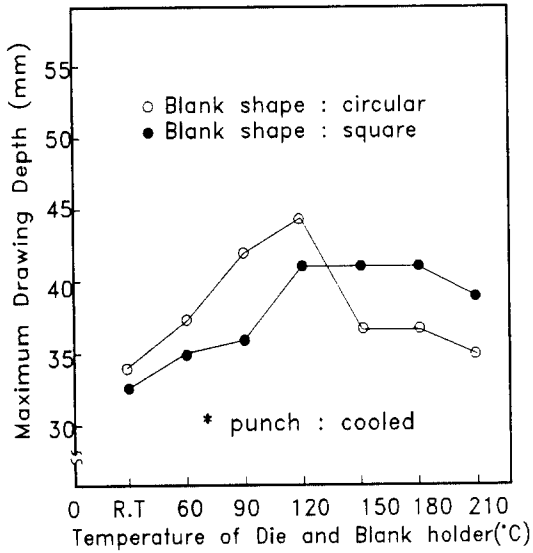
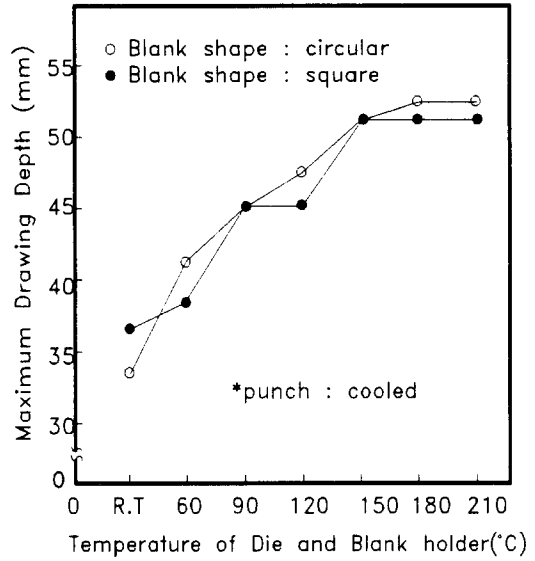


Fig.3 Shape of blank



(a) crank press



(b) hydraulic press

Fig. 4 Comparison of maximum drawing depth for temperature change of die components

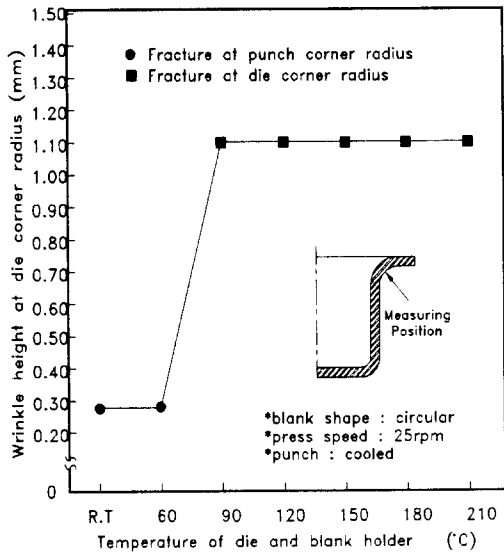


Fig. 5 Change of wrinkle height at the die corner radius when fracture occurred on the drawn cup

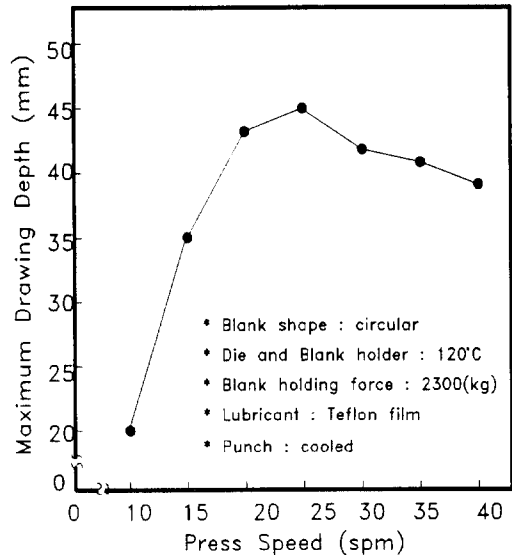
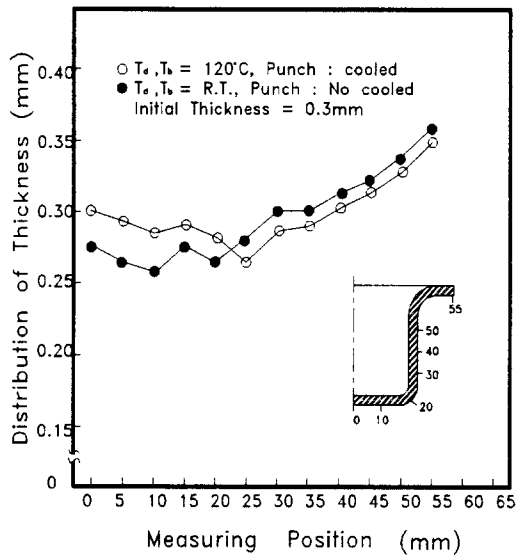
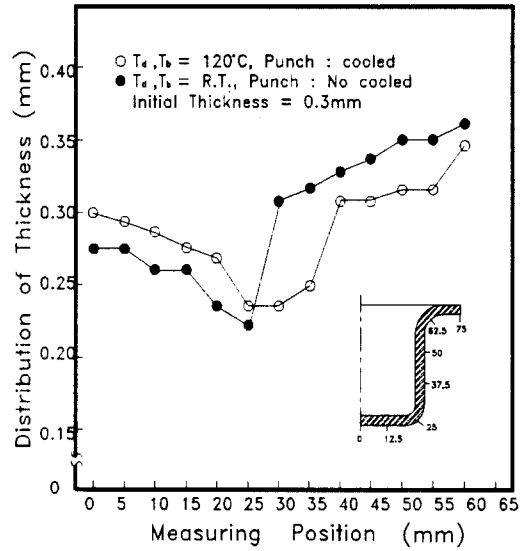


Fig. 6 Change of maximum drawing depth for various press speeds

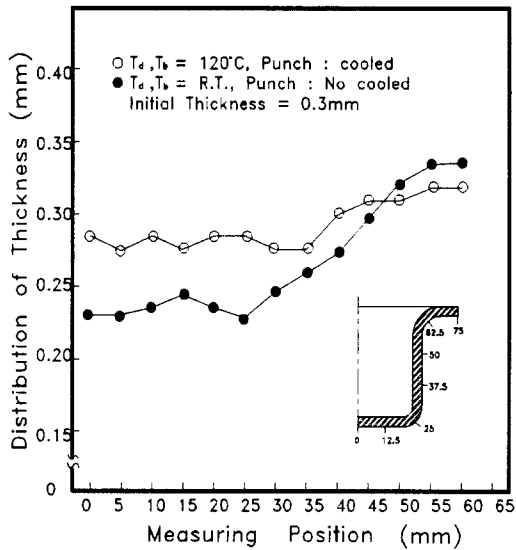


(a) middle section

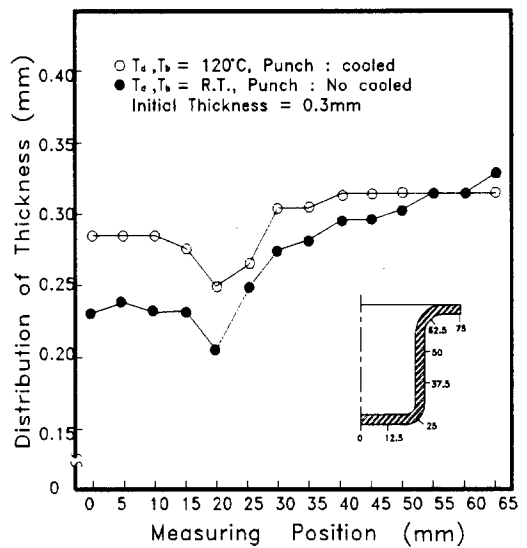


(b) diagonal section

Fig. 7 Thickness distribution of drawn cups for two different working conditions in crank press



(a) middle section



(b) diagonal section

Fig. 8 Thickness distribution of drawn cups for two different working conditions in hydraulic press