

테일러 접합 블랭크용 정밀 전단 특성에 관한 연구  
안기순\*(인덕대),이원평(인덕대),  
한상준(서울대원),김희송(단국대)

A Study on Characteristics of Precision Shearing  
for Tailor Welded Blanks  
K.S.An\*(Induk college),W.P.Lee(Induk college),  
S.J.Han(Seoul Univ. graduate),H.S.Kim(Dankook Univ.)

**Abstract**

An objective of this study is that when the steel sheet for automobiles would be sheared by using shearing machine, it is to design the forms of pad for obtaining the precision shearing surface to satisfy the conditions required to laser beam butt welding for processed sheared surface and to establish the appropriate condition against the size of gap between strength of pressure and location and clearance between punch and die.

For doing so, we will attempt to make a precision of the most possibility of shearing machine by the shearing machine in analyzing the characteristics of the shearing working upon analyzing and clarifying the interrelation among these.

**1. 서론**

TWB(Tailor Welded Blanks)는 최근 국내 자동차 산업에서 많이 활용되기 시작하고 있으며, 자동차 부품 및 차체 제작에 많이 사용되고 있다. TWB로 만들어진 판재의 성형성은 용접방법에 의해 영향을 크게 받으며, 널리 사용되는 용접 방법은 레이저 빔 맞대기 용접(laser beam butt welding)<sup>[1-2]</sup>이다.

일반적으로 자동차 업계에서는 절단 길이가 약 2,000mm까지 요구되고 있는 것이 최근의 실정<sup>[1]</sup>

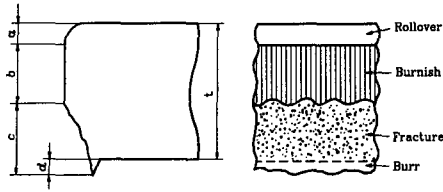
이며, 또 절단시 절단면은 재료 두께의 70% 이상이 정밀하게 되는 것을 요구하므로, 현재 레이저 절단 방식으로 작업하고 있다. 그러나 장비의 고가 및 가공 속도의 한계성을 극복하지 못하는 약점<sup>[3]</sup>이 있다. 이에 비해 프레스 절단은 고속 가공, 설치 및 운영비가 적은 장점<sup>[3]</sup>이 있으므로 소재의 직선 전단은 전단기로 가공하는 것이 가장 효과적이지만, 일반적으로 전단면이 재료 두께의 30-50%이하이고 나머지는 파단면으로 나타나므로 기존의 방법으로는 TWB용에 적용하기는 어렵다.

본 연구의 목적은 전단기를 사용하여 판재를 전단하였을 때, 가공 단면이 레이저 빔 맞대기 용접에서 요구되는 조건을 만족시키는 정밀 전단면을 얻기 위하여 패드 압력의 세기와 위치 및 편차와 다이 사이의 틈새량에 대한 적정 조건을 설정하는 것이다. 이를 위해 전단가공에 대한 전단 특성을 분석, 규명하여 TWB가 가능한 전단기의 정밀화를 시도하고자 하였다.

**2. 전단 절단면**

전단 가공은 가공 특성, 공구의 조건, 제품의 형상, 재료의 구속 조건, 틈새의 크기 등에 영향을 받으므로 전단 가공의 변형 과정과 특성 인자를 파악하는 것이 대단히 중요하고 전단기를 설계하는데 필요한 요건<sup>[4]</sup>이 된다.

전단시의 절단면은 전단 가공의 변형 과정 중에 형성되고 일반적으로 Fig. 1에서와 같이 처짐, 전단면, 파단면, 뒤말림의 4가지의 부분으로 구성



(a) Side view (b) Front view  
Fig. 1 Sectional shape of sheared edge.

된다. 처짐(rollover)은  $a$  부분으로서 공구가 재료 내부로 관통될 때 재료가 당겨 늘려진 부분이며, 전단면(burnish)은  $b$  부분으로서 펀치가 어느 정도 관통되었을 때 나타나며 섬유 조직이 소성 유동에 의해 생성된 기구이다. 즉 공구 측면에서 수평 압력으로 눌러서 상대적으로 미끄럼을 행한 부분이다. 이 부분은 광택이 있는 평활한 면이며, TWB용에서는 핵심적인 부위가 된다.

파단면(fracture)은  $c$  부분으로서 어느 정도의 전단 변형을 한 후에 균열에 의해서 파단하여 결정립이 나타난 부분이며, 전단면이 감소하면 파단면은 감소한다. 뒤말림(burr)은  $d$  부분이며 전단 가공시에는 균열 발생과 성장에 깊은 관련성을 가진다. 따라서 미소의 뒤말림 발생은 피할 수 없지만 펀치 및 다이가 예리할 때 발생되는 뒤말림은 크기도 작으므로 실용상 문제가 없다.

### 3. 등가 틈새

피가공 재료를 펀치 및 다이 위에서 완전히 고정할 수 있다면, Fig. 2와 같이 변형이 어느 정도 틈새 부분에 한정되는 것도 가능하지만, 실제에는 틈새 부분 이외의 소재에도 변형이 미치므로 이들을 고려한 것이 등가 틈새이다.

등가 틈새는 재료의 종류, 구속 조건, 가공 조건과 외력의 분포 상황 등에 영향을 받으므로 이들 영향 인자 사이의 상관 관계를 정확히 규명할 필요가 있다. 즉 펀치면과 다이면에서 재료가 받는 압력  $P$ 는 Fig. 2와 같이 각각의 폭  $w_p$ 와  $w_d$ 에 걸쳐서 분포하고, 합력  $P$ 에 의해 전단 변형을 일으키므로 등가 틈새  $c_e$ 는 그 우력  $P$ 의 거리와

같다. 또한 이는 소성역 압력 분포를 나타내므로 압력의 합력은 근사적으로  $w_p$ ,  $w_d$ 의 중앙에서 작용한다고 하면  $c_e$ 는 식(1)과 같이 된다.

$$c_e = c + (w_p + w_d) / 2 \quad (1)$$

각종 재료에 대하여  $(w_p + w_d) / 2$ 를 측정할 결과 0.8~1.06사이의 값을 가지므로  $w_p + w_d = t$ 로 보면, 등가 틈새  $c_e^{[5]}$ 는 식(2)와 같이 된다.

$$c_e = c + 0.5t \quad (2)$$

여기서, 패드 조정 계수  $k$ 를 도입하면, 식(3)과 같다.

$$c_e = c + 0.5kt \quad (\text{단}, 0 < k < 1) \quad (3)$$

등가 틈새를 적게 할려면,  $c$ 만을 적게 하는 것은 그 효과가 적게 되므로  $(w_p + w_d) / 2$ 를 최소화하는 것이 합리적이다.

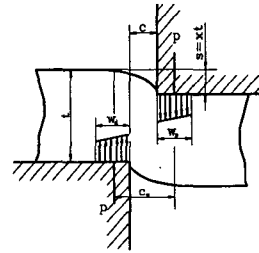


Fig. 2 Concept of equivalent clearance.

따라서 패드를 이용하여 위치, 압력을 조절하면  $k$ 를 제어할 수 있다. 즉, 적합 형상의 패드를 사용하여 패드의 압력을 증가시켜 전단시 국소 압력을 증가시키면, 평균 압력에 의한 집중 하중  $P$ 를 다이 날끝 쪽으로 이동시킬 수 있게 되므로  $(w_p + w_d) / 2$  값을 최소화할 수 있게 된다.

이는 패드의 압력에 의해 다이측 재료에 균열 발생을 지연시켜 전단면이 크게 할 수 있다.

### 3. 실험 방법

전단 실험은 유압식 전단기에 실험용 패드를 부착하여 가공 조건을 변화시키면서 실험하였고, 시편은 SPCEN 0.8t, 1.4t와 SPRC 1.4t, 1.8t로 하였으며, 폭 50mm의 띠강판을 제작하고 평면과 측면의 직각도를 확보하였다.

패드의 형상은 Fig. 3에 나타내었고, 사용 압력은 Table 3과 같이 4종류의 재료에 대하여 누름용 실린더의 압력을 각각 2, 2.5, 3 kgf/mm<sup>2</sup>로 설정하고, 틈새를 0.03, 0.05, 0.09, 0.13, 0.17mm로 설정한 후, 패드의 사용과 비사용의 경우로 나누어 전단하고 전단면의 크기와 편치축 압흔과 다 이축의 압흔을 비교하였다.

Table 3 Control parameters and their cases in shearing experiment.

Material	SPCEN 0.8t, SPCEN 1.4t, SPRC 1.4t, SPRC 1.8t
Clearance (mm)	0.03, 0.05, 0.09, 0.13, 0.17
Blank holding pressure( kgf/mm <sup>2</sup> )	2, 2.5, 3
Blank holding method	with pad, without pad

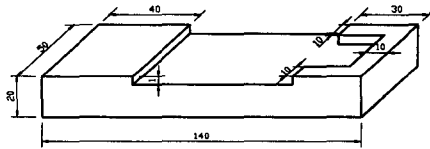


Fig. 3 Pressure pad designed for the best contact efficiency.

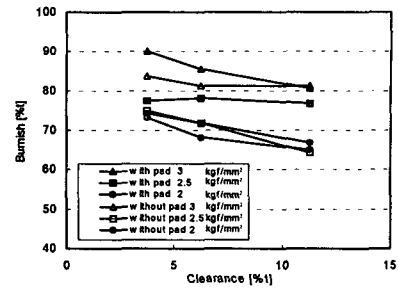
#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 전단면(burnish)

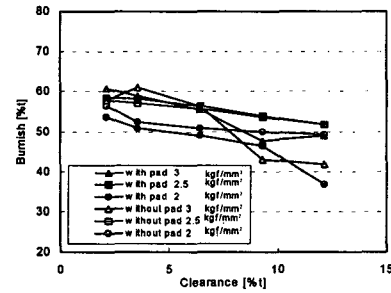
SPCEN 0.8t, 1.4t, SPRC 1.4t 및 1.8t에 대한 전단면의 시험결과는 Fig. 4에 나타내었다.

SPCEN 0.8t는 틈새량이 0.03mm인 경우, 압력 3 kgf/mm<sup>2</sup>에서는 패드의 사용 유무에 관계없이 TWB를 제작하는데 필요한 전단면을 얻을 수 있었다. Fig. 4(a)에서 두께에 대한 틈새비가 감소할수록 양호한 전단면을 얻을 수 있었으며, 패드가 있는 경우가 없는 경우에 비하여 양호한 결과가 얻어졌다. 패드의 압력 측면에서 비교하여 볼 때 압력이 증가할수록 전단면이 양호하며 과단면이 줄어들음을 알 수 있다.

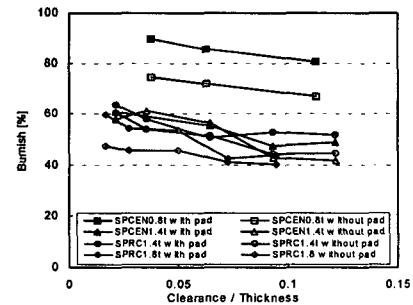
패드가 있는 경우는 전단시 다이의 끝부분에서 발생하는 재료의 회전을 방지할 뿐아니라 편치축



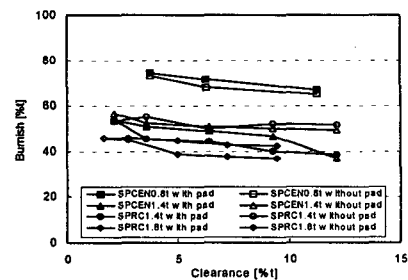
(a) SPCEN 0.8t



(b) SPCEN 1.4t



(c) 3 kgf/mm<sup>2</sup>



(d) 2 kgf/mm<sup>2</sup>

Fig. 4 Variations of burnish portion with clearance under different blank holding pressure conditions.

(clearance=0.03 mm, pad distance=5 mm)

면의 압축 응력을 감소시켜 전단이 용이하도록 하는 특징을 보이고 있고, 이 경우 다이축의 균열 발생을 지연시켜 파괴를 억제하여 전단면을 증가시키게 된다. 그러므로 패드 사용은 정밀전단을 하는데 필요한 중요한 인자라고 할 수 있다.

SPCEN 1.4t의 경우는 Fig. 4(b)에서와 같이 틈새가 증가함에 따라 전단면이 직선적으로 감소하며 전단면의 비율은 60%이하였다. 또, 압력의 측면에서는 2 kgf/mm<sup>2</sup>에서는 패드의 효과가 미미하였지만, 3 kgf/mm<sup>2</sup>에서는 전단면의 크기가 개선되고 있으므로 이를 특정값 이상으로 증대시키면 더욱 양호한 결과를 얻을 수 있을 것이라고 판단된다. 패드의 압력이 증가할수록 전단면이 증가하고 패드가 있는 경우가 없는 경우보다 전단면이 증가하나 2 kgf/mm<sup>2</sup>인 경우에 대해서는 일정한 경향이 나타나지 않았으며, 이는 일정 압력 이상에서만 패드의 효과가 있음을 예상할 수 있었다.

Fig. 4.(c), (d)에서 동일 패드 압력 상태(3, 2 kgf/mm<sup>2</sup>)에서 비교한 결과를 보면 두께에 의한 영향을 볼 수 있다. 즉 두께가 얇을수록 동일 조건에서 전단면이 증가하고 있다. 이는 틈새에 의한 영향보다도 패드의 압력이 중요한 영향 인자임을 나타내고, 패드의 압력과 소재의 두께와는

어떤 상관 관계가 존재함을 알 수 있었다. 즉, 동일 틈새에서 전단 저항은 두께가 클수록 증가하므로 재료가 패드 압력에 대한 저항력이 크게 증가됨을 의미한다. 따라서 설정된 패드의 압력이 불충분하여 재료를 적절히 구속하지 못하면, 재료의 미끄럼이나 상승에 의해 틈새 증대 효과가 일어나므로 전단면이 감소하게 된다.

이들의 결과를 종합하여 보면 재료, 틈새량, 두께는 패드 압력에 따라 그 전단면의 크기가 다를 수 있었고, 이들은 정밀 전단에 큰 영향을 끼치는 전단 인자라고 할 수 있다.

#### 4.2 압흔(impression)

일반적으로 패드가 없는 경우, 다이축의 압흔은 펀치축의 압흔보다 약간 적게 나타나지만,<sup>[5]</sup> 본 실험의 경우에서 다이축의 압흔은 Fig. 5와 같이 그 크기가 매우 적고, 측정이 불가능하였다.

이는 다이위에 누름용 패드가 설치되어 있어 전단시 재료에 큰 압축력을 부가하여 재료의 미끄럼과 상승을 방지하고 있으므로 등가 틈새가 크게 줄어들었음을 알 수 있다. 따라서, 패드의 형상과 압력은 정밀 전단 기구에 큰 영향을 줄 수 있다고 판단된다. 前田<sup>[5]</sup>는 등가 틈새의 크기는 재료 두께의 50 % 정도인 것으로 발표하였지만, Fig. 5와 같이 패드를 사용하여 전단한 경우에는 다이축의 압흔은 보이지 않지만, Fig. 7과 같이 펀치축의 압흔은 그 크기가 매우 크고 뚜렷함을 볼 수 있으며 펀치축에는 패드를 설치하지 않은 경우이며 일반적인 전단의 경우이다. 이는 패드에 의해 다이축의 등가 틈새가 거의 0에 가까운 것을 의미한다. 또한, 펀치축에도 패드와 같은 역패드를 설치하면 펀치축의 압흔도 다이축과 같은 경향을 나타낼 것으로 예상하지만, 이는 전단기 구조의 문제점과 펀치 하중이 크게 증가하므로 신중한 검토가 요망된다.

Fig. 6과 같이 펀치축의 압흔 깊이는 SPCEN 0.8t의 경우, 압력의 증가에 따라 깊이가 증가하였으며 3 kgf/mm<sup>2</sup>에서는 재료 두께의 17~20 % 정도이고, 2 kgf/mm<sup>2</sup>에서는 15~17 %로 적게 나타났다. 이는 패드에 의한 압력이 클수록 증가함을 의미하므로 전단기 설계시에 틈새와 재료 두

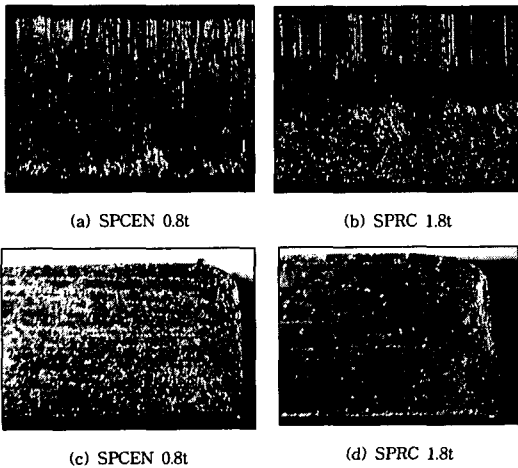
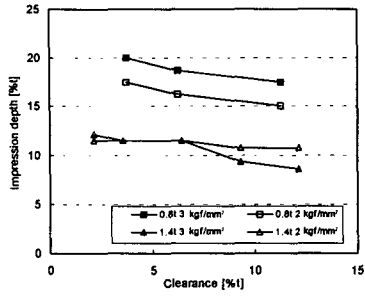
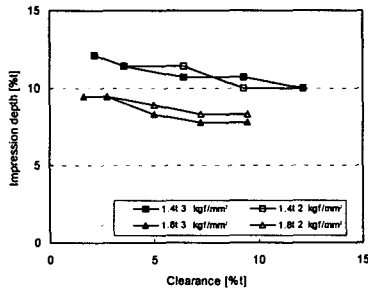


Fig. 5 Shear plane of sheared edge.  
(clearance=0.03mm, pad pressure=3 kgf/mm<sup>2</sup>)

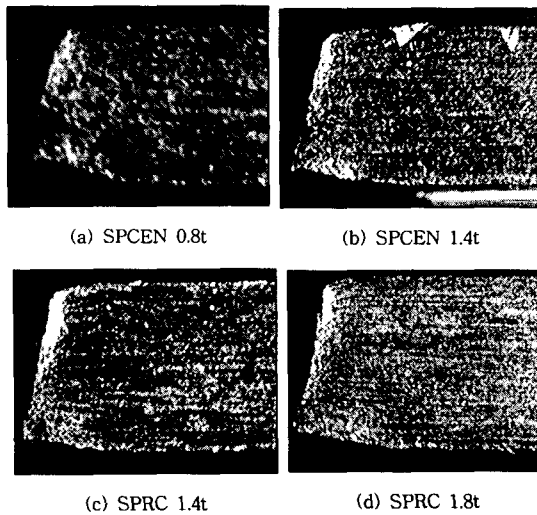


(a) SPCEN



(b) SPRC

Fig. 6 Variations of impression depth of punch side. (SPRC 1.8t, clearance=1.67t, pad pressure= 3 kgf/mm<sup>2</sup>)



(a) SPCEN 0.8t

(b) SPCEN 1.4t

(c) SPRC 1.4t

(d) SPRC 1.8t

Fig. 7 Impression depth of punch side.

계를 고려한 압력 설정이 필요하고 특히, 두께가 얇은 박판인 경우는 주의하여야 한다. SPCEN 1.4t의 경우, 패드에 의한 압력 효과는 미미하고 틈새의 증가와 더불어 감소하고 있지만, 틈새를 너무 크게하는 것은 전단에 악영향을 미치므로 주의해야 한다. SPRC의 경우는 동일 두께에 대한 패드 압력의 변화에 따른 특성은 미미하지만, 두께 차이에 따른 효과가 크고, 재료가 두꺼울수록 압흔의 깊이는 작게 나타나므로 재료가 후판인 경우 특별한 문제점은 없다고 생각된다. 그러나 틈새의 감소와 더불어 압흔의 깊이가 증가하므로 재료두께, 틈새 및 재질과의 상관 관계를 고려한 후, 전단 가공하면 양호한 결과가 예상된다. TWB 제작시 압흔의 깊이에 대한 조건은 성형시 용접부의 두께가 모재의 80% 이상<sup>[2]</sup>을 요구하고 있고 피로 강도 측면에서는 70~80% 이상<sup>[6]</sup>을 요구 하지만, 본 실험의 결과는 재료 두께의 20%이하로 위의 조건을 만족하므로 충분히 사용할 수 있다고 판단되며, TWB 제작을 위한 용접시에는 필러 와이어를 사용하므로 특별한 지장은 없다. 다만, 문제가 되는 것은 Fig. 7과 같이 단면이 둔각으로 나타나므로 정밀 전단 부품으로는 볼 수 없다. 이는 절단 속도와 깊은 관련성<sup>[7]</sup>이 있으므로 절단 속도를 증가시키는 방법을 모색하여 절단면을 직각으로 유도하여야 하지만, 추가적인 보완이 없이 TWB의 제작은 가능하다고 판단된다.

#### 4.3 패드의 설치 위치에 따른 영향

패드의 설치 거리가 전단 가공에 미치는 영향을 분석하기 위해 SPRC 1.8t에 대하여, 패드 압력 3 kgf/mm<sup>2</sup>, 틈새 0.03mm(1.67%t)인 조건에서 패드의 위치를 다이의 끝부분으로부터 2, 5, 10, 15, 20 mm에 위치하도록 하고 전단 실험을 하였으며, 최저 거리인 2mm는 본 시험기에서 사용할 수 있는 최소의 안전 거리이다. Fig. 8과 같이 패드의 설치 위치가 다이 날끝에서 멀어질수록 전단면은 급격히 감소하고 처짐과 뒤말림은 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 즉 공구에 작용하는 측면압의 효과를 증가시키기 위해서는 패드의 설치 위치를 최대한 편치에 가깝도록 해야함

을 알 수 있다. 처짐량은 다이 날 끝으로부터 패드의 설치 위치가 멀어질수록 처짐량이 조금 증가하고 있는데 이는 전단 초기에 재료가 유입되어 틈새량 만큼 충전되려는 상태가 패드에 의해 억제됨을 의미한다. 패드의 효과란 틈새를 작게 하는 것과 같고, 동일 틈새에서는 재료의 미끄럼을 방지하고, 재료에 누름력을 증가시켜 전단시 소재의 상승을 근원적으로 방지하고 패드의 압력에 의해 재료 내부에 큰 압축 응력을 발생시켜서 재료의 연성이 증가한다고 보여진다. 거리가 10mm까지는 전단면이 50%정도가 되지만 그 이후는 급격히 감소한다.

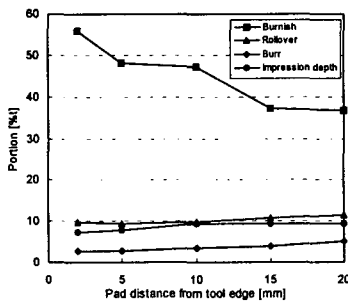


Fig. 8 Effect of pad location on sheared edge shape. (SPRC 1.8t, clearance=1.67t, pad pressure= 3 kgf/mm<sup>2</sup>)

## 5. 결론

TWB를 위한 정밀 전단 가공시 적합한 패드의 형상과 패드의 설치 위치, 압력의 크기 및 틈새의 변화에 대하여 전단 특성을 규명하여 레이저빔 절단의 의존성을 줄여 생산성을 증가시키고 정밀도가 높은 전단기의 개발에 이바지 하고자 본 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 패드를 사용하면 판재의 압력을 조절할 수 있어 전단 가공에 양호한 결과를 얻을 수 있으며 패드의 압력이 증가할수록 전단면은 양호하였다.
- (2) 패드의 설치 거리는 다이 날끝에서부터 최소 거리를 유지해야 한다.
- (3) 소재의 두께는 전단면 형성에 직접 영향을

미치며 두께와 전단면의 크기는 선형적으로 비례하지 않는 특성을 가지고 있다.

- (4) 실험에 사용한 소재중 SPCEN의 경우는 패드 압력 3 kgf/mm<sup>2</sup> 이상, 틈새 0.03mm이내, 패드거리 2mm이내에서 TWB의 조건에 합당한 전단면을 얻을 수 있었다.

## 참고문헌

1. 丸山磐男, “レーザーが生産技術を革新した”, 溶接技術, 11月号, pp.84~86, 1996.
2. 定村一洋, “レーザー溶接薄板のプレス成形”, 塑性と加工, Vol. 34, No.391, pp.917~923, 1993.
3. 高橋雄二, “自動車産業におけるレーザー加工の適用”, 溶接技術, 11月号, pp.69~74, 1994.
4. 村川正夫, “最近のせん断加工技術と課題”, 塑性と加工, Vol.35, No.396, pp.3~9, 1994.
5. 前田禎三, “複刃による 金属薄板のせん断機構理論”, 精密機械, Vol.25, No.6 pp.260~262, 1959.
6. 夏見文章, 小原昌弘, “テーラードブランクのプレス成形”, 塑性と加工, Vol.38, No.432, pp.47, 1997.
7. 村川正夫, “せん断加工機構”, 塑性と加工, Vol.38, No.440 pp. 794~799, 1997.