

棒材のせん断特性におよぼす工具刃先面取りの効果

大森宮次郎*, 山崎 明*

(昭和59年8月30日受理)

Effect of Chamfering of Tool Edge on Cropping Properties of Bar Material

MIYAJIRO OHMORI, AKIRA YAMAZAKI

Abstract— The development of fracture at early stage of tool penetration during bar cropping deteriorates the qualities of the cut end surface. Then, cropping tests were tried by using blunt-edged shearing tool which seemed to be effective to retard crack nucleation. Chamfering of C1 or C0.5 was given to blunt the cutting edge. This report describes the effect of chamfering of cutting edge on shearing resistance and the geometrical properties of the cut end surface.

Chamfering of the cutting edge results in an increase of the shearing resistance, but hardly influences the inclination of the cut end surface in case of low clearance, and improves the so-called burnish area substantially.

Cropping tests using the conventional cutter (0 chamfering) at the moving tool side and the chamfered cutter at the stationary tool side have formed nearly equal burnish depth on the cut end surfaces at both tool sides.

The effect of chamfering of the cutting edge on cropping properties has been discussed by using a simple upper bound solution.

1. 緒 言

棒材からの冷間鍛造用の素材取りは、材料の歩留りおよび生産性の点でせん断による切断法が有利であるが、材料が軟質の場合、一般にせん断面が平滑ではなく、また棒材軸線に垂直とならず、冷間鍛造工程で不都合が生じる。そのため、素材のせん断切口面を平滑にし、しかも軸線に垂直にするすえ込み工程を必要とし、さらに中間焼なまし工程を必要とすることが多い。このことは、せん断による素材取りの高い生産性を相殺することになる。

慣用工具によるせん断加工では、せん断行程の比較的早い時期に刃先付近からき裂が発生し、工具によるせん断過程に先んじて破壊が材料断面内を伝播して破断面を形成する¹⁾。そこで、この破壊をできるだけ起しにくくし、大きなせん断面を得る方法が考案されている。その多く

は、被せん断材に軸圧縮力を加えて、き裂の発生を抑制する^{2),3)}方法で、材料の延性を見かけ上増す方法である。この場合、装置の複雑化が避けられない。

ところで、工具刃先近傍からのき裂の発生を抑制するには、工具刃先近傍の被せん断材内の応力集中を緩和させる方法が考えられる。その1つの方法は、鋭利な工具刃先を鈍化させることであり、丸味をつけたり、面取りをすることが有効であろう。そこで、本研究では、刃先を面取りした工具により、棒材のせん断加工を行い、せん断抵抗、せん断切口面傾斜、せん断面大きさなどのせん断特性への影響を調査した。

2. 実験方法

2.1 せん断工具

Fig.1にせん断工具の形状およびその配置を図式的に示してある。工具の交換が容易となるように分割工具と

* 茨城大学工学部機械工学第二学科（日立市中成沢町）

し、静止工具は円筒穴(円径10mm)、移動工具は半丸穴(半径5mm)のものである。Fig.1(a)は、通常の慣用工具であり、これをC0工具と名づける。同図(b)は、工具刃先にC1の面取りを行ったものであり、静止および移動工具ともにC1工具と呼ぶ。同図(c)は、移動工具は面取りしないC0工具を用い、静止工具に面取りしたC0.5またはC1工具を用いる場合である。

静止工具は、両面および片面せん断が可能のように2個配置し、移動工具は1個である。これらの工具を保持具に固定し、ダイセット内に納めてある。

工具材質は、ダイス鋼SKD11で、JIS規定の熱処理を行って使用した。

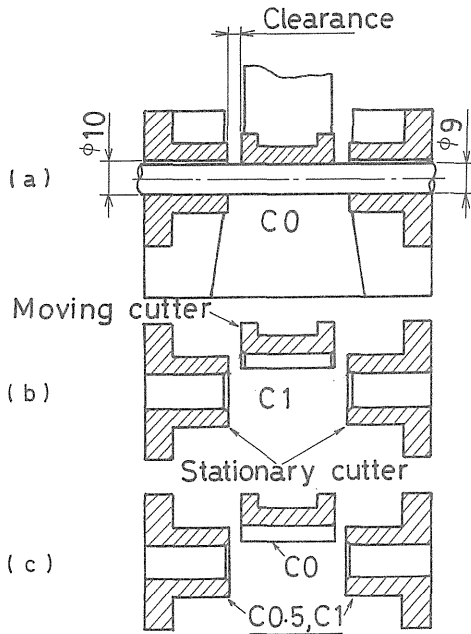


Fig.1 Schematic diagram of shearing tool apparatus.

2.2 実験材料

実験に使用した被せん断材は、機械構造用炭素鋼のS15Cおよび市販のアルミニウム棒材A1050BD-H18である。いずれも直径10mmのものを買入れた、受入れ状態の材料の機械的性質をTable 1に示す。これらのデータは、直径5mm、標点距離40mmのJIS2号引張試片を用いて測定したものである。

Table 1 Mechanical properties of materials used.

Material	Ultimate tensile strength kg/mm ²	Elongation %	Reduction of area %
S15C	70.5	8.8	53.3
A1050BD	11.7	11.5	90.1

2.3 せん断条件と加工面の測定法

せん断試験には、万能材料試験機(10ton)を荷重源として用い、速度2~5mm/minでせん断試験を行った。被せん断材は、上述の購入材を直径9mmに旋削加工したもので、静止工具穴との間に1.0mmのすき間を与えた。静止工具側の材料把持方法は、自由支持とした。静止工具と移動工具の間のクリアランスCを棒材直径dとの相対値c/dで0, 5.5および11%に変化させ、また両面および片面せん断により、1つの条件で4回の実験を繰返した。

せん断切口面の幾何学的性質は、正面および側面からの接写写真を用いて測定し、またせん断面深さおよび切口面のゆがみは、ノギスを用い直接測定した。

3. 実験結果と検討

3.1 せん断抵抗

Fig. 2 および3にそれぞれ両面および片面せん断に

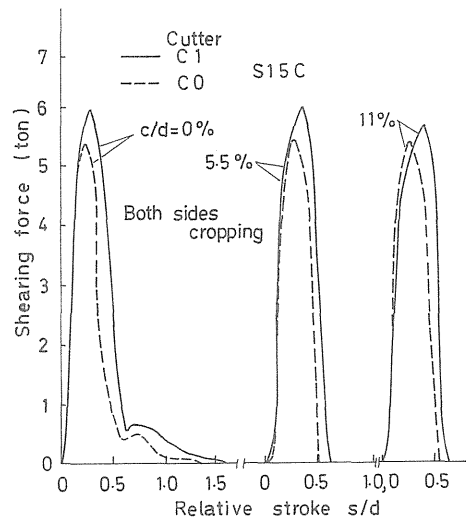


Fig. 2 Shearing force-relative stroke diagram of mild steel for both sides cropping.

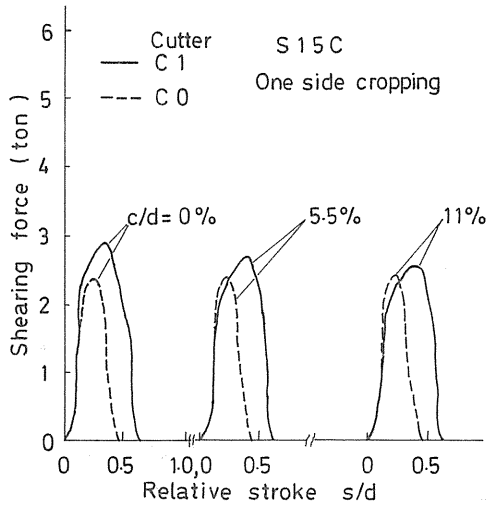


Fig. 3 Shearing force-relative stroke diagram of mild steel for one side cropping.

おける相対せん断ストローク s/d (d : 被せん断棒材直径) とせん断荷重の関係を示す。図には、それぞれC0およびC1工具によるせん断荷重-相対ストローク曲線が比較してある。工具押し込みにより、せん断荷重が急激に上昇するが、C0工具に比較してC1工具の最大せん断荷重が高く、ピーク荷重に対応する相対せん断ストローク s/d もC1工具の方が大きい。この最大せん断荷重点でせん断破壊が起るとすれば、C1工具の場合、より大きなせん断荷重を必要とするが、工具によるせん断断面がより大きくなることを示唆する。工具刃先の面取りにより、押し込み時の刃先先端における被せん断材内の応力集中が緩和され、き裂の発生がおくれるという効果によるものと考えられよう。

Fig. 4は、最大せん断荷重を被せん断材の横断面積で割った値、すなわちせん断抵抗と相対クリアランスの関係を示すもので、軟鋼の例である、両面および片面せん断ともに、C1工具によるせん断抵抗は、C0工具の値より約8~9%高い値を示している。また相対クリアランスの増加により、せん断抵抗はわずかに低下することがわかる。

ここには軟鋼S15Cに対する結果のみ示したが、アルミニウム材もせん断荷重-ストローク曲線およびせん断抵抗ともに軟鋼S15Cの場合と同様の傾向を示した。

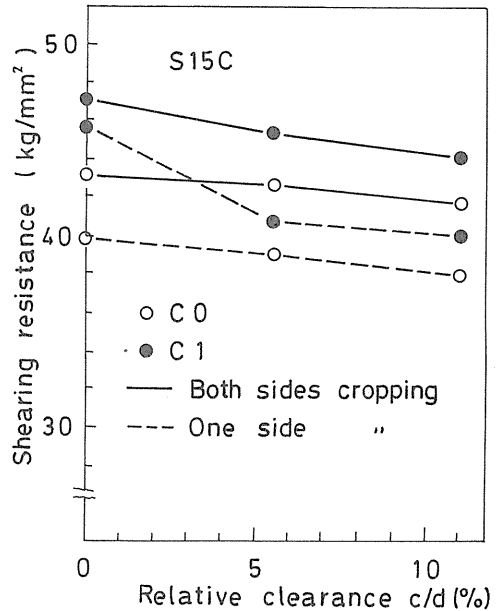


Fig. 4 Comparison of shearing resistance.

3.2 せん断加工面の特性

せん断加工は、せん断応力をせまい範囲に集中させて材料を切断するのであるが、せん断応力を線状のせまい範囲に集中させることは困難であり、またそれが可能であるにしても、工具押し込みによる塑性域は、ある範囲まで広がり、棒材円筒面上には、だれと呼ばれる形状欠陥が生じる。また、せん断過程の進行にともない、工具押し込みのある段階で刃先近傍から被せん断材内にき裂が発生し、瞬時にしてそれが伝播する破壊現象をひき起し、工具によるせん断加工面のみの切断面を得ることが困難である。したがってせん断面切口面は、いわゆる工具によるせん断面と破壊面から構成され、そのため、せん断切口面は棒材軸線に対し直角とならず、幾分傾斜する傾向を示す。ここでは、すわりのよい素材取りという観点から、せん断加工面の特性としてせん断切口面の傾斜、せん断面深さおよびだれのみをとり上げ、工具刃先面取りの効果を調査する。

3.2.1 せん断加工面の傾斜

Fig.5にせん断切口面の傾斜におよぼす工具刃先形状およびクリアランスの影響を示す。切口面の特性は、固定工具側および移動工具側で異なるため、分けて示してある。挿入図に示すように、被せん断材の円筒母線から

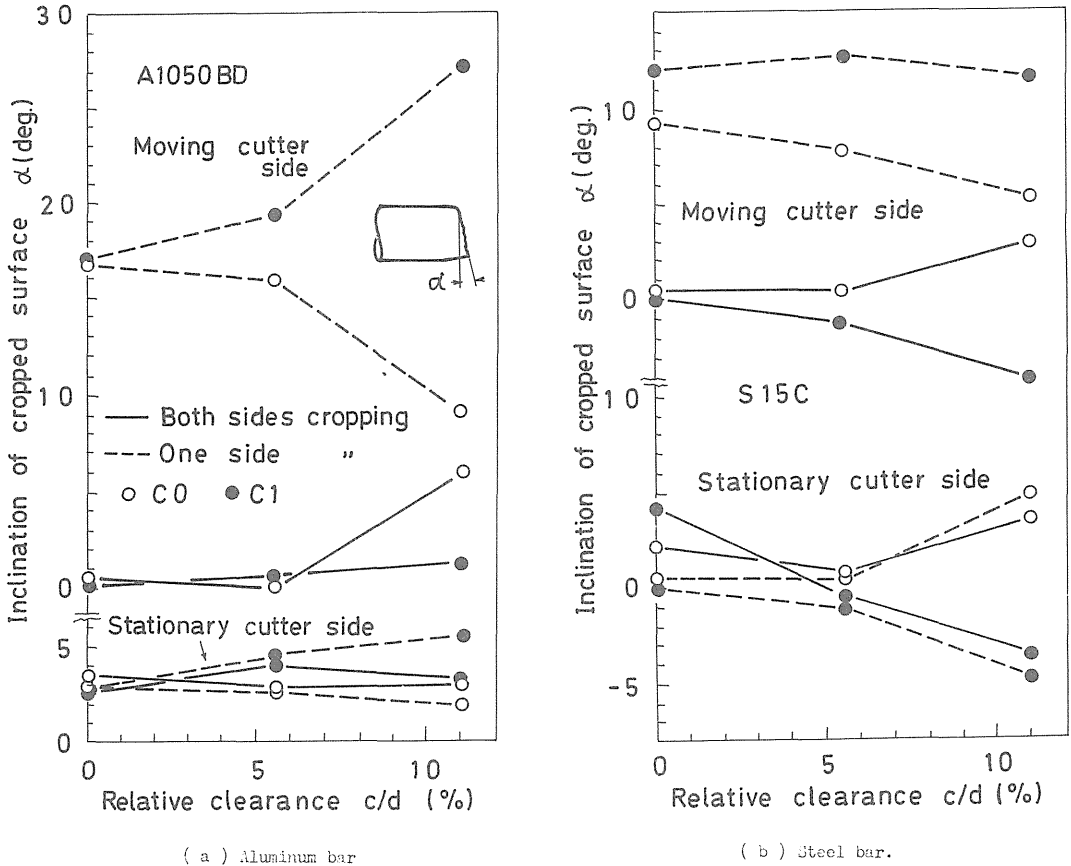


Fig. 5 Inclination angle of cropped surface.

せん断切口面に続くだれの終端部から破壊面終端部へ直線を引き、棒材横断面となす角をもって切口面傾斜を表わしてある。軟鋼の場合、傾斜角は、静止工具側では相対クリアランス c/d が 5.5% まではすべて 5° 以下であり、また 11% の相対クリアランスでも $\pm 5^\circ$ 以内に入っている。移動工具側では、両面せん断では、静止工具側とほぼ同等であるが、片面せん断の場合、最大で $+13^\circ$ 程度まで傾斜し、しかも C1 工具による場合の方が傾角が大きい。アルミ材の場合も軟鋼とほぼ同様の傾向を示している。

3.2.2 せん断深さ

Fig. 6 は、アルミニウム材のせん断面深さを C0 および C1 工具の場合で比較したものである。静止工具側のせん断面深さは、両面および片面せん断で大きな相違はみられず、せん断面深さ a と切口面高さ d_1 の比 a/d_1 の値はほぼ 20~55% の範囲にある。しかるに、C0 工具と C1 工具によるせん断面深さを比較すると、後者の

工具による場合の方が a/d_1 の値がわずかに高い値を示しているのがわかる。次に移動工具側のせん断面深さ比 a/d_1 は、約 30~100% の広い範囲にわたっており、両面せん断および片面せん断ともに、C0 工具による場合よりも C1 工具による方が大きな値を示している、C1 工具による両面せん断の場合、相対クリアランス 5.5% 以下では、切口面の傾斜が小さく、比較的大きなせん断面深さとなり、特に移動工具側でその傾向が強く、良好な切口面がえられる。

次に、軟鋼材のせん断面深さの比較を Fig. 7 に示す。両面せん断の場合、静止工具側では、せん断面深さ比 a/d_1 は 10~20%、また移動工具側では 20% 程度であり、クリアランスの影響は小さい。片面せん断の場合、静止工具側では、両面せん断の場合とほぼ同等のせん断面深さ比を示すが、移動工具側では、せん断面深さ比 a/d_1 の値は 20~50% の範囲を示している。いずれの場合も、C0 工具によるよりも C1 工具によるせん

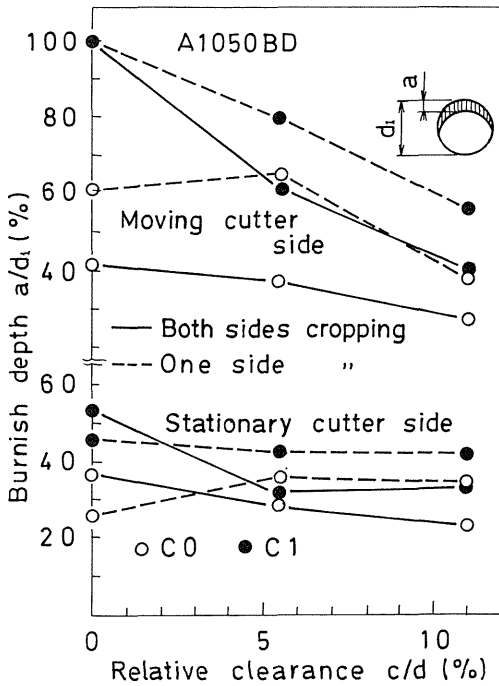


Fig. 6 Burnish depth of aluminum bar.

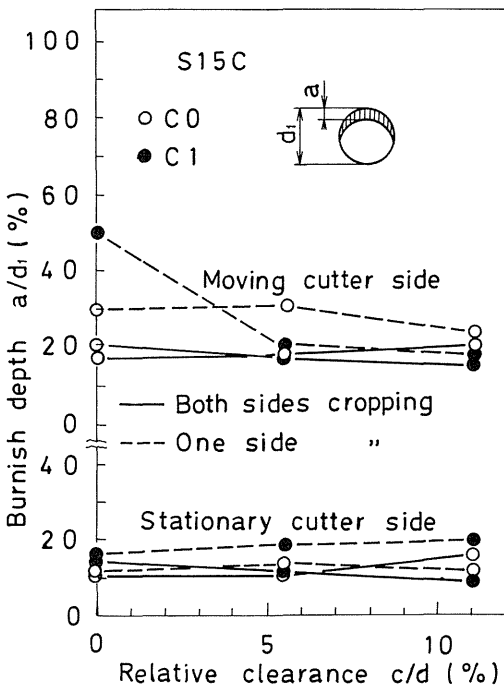


Fig. 7 Burnish depth of mild steel bar.

断の場合の方が、せん断面深さ比がわずかに大きい値を示す。

3.2.3 だれの大きさ

工具押し込みによる工具との非接触部円筒面からせん断面の開始点までの深さ h をだれの大きさとして Fig. 8 に示す。だれは、片面せん断の移動工具側で 0 となる以外は、クリアランスの増加とともに増加する傾向を示している。しかも C0 工具よりも C1 工具によるせん断の場合の方が、より大きなだれを形成する。しかるに、このだれは、いずれも 1 mm 以下の大きさであり、2 次成形におよぼす影響はほとんど考慮しなくてよい程度である。

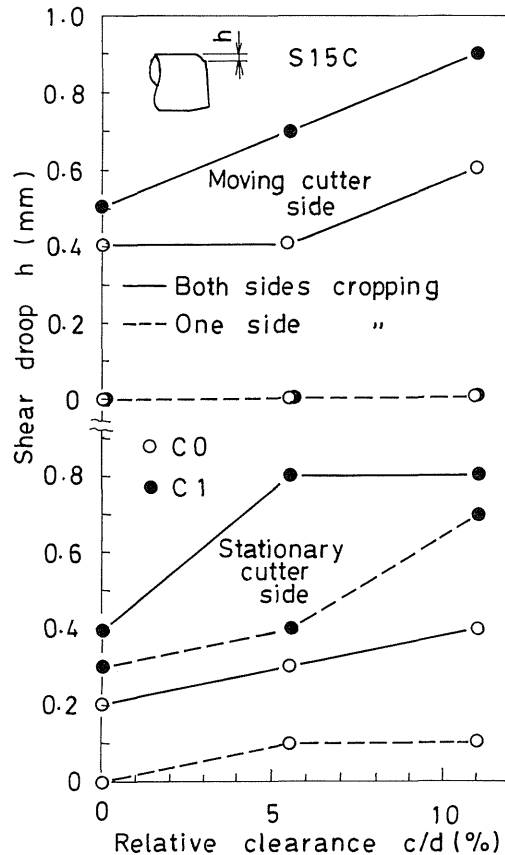


Fig. 8 Shear droop of mild steel bar.

3.2.4 せん断加工面の観察

せん断切口面の傾斜、せん断面深さおよびだれをとり上げ、その傾向を示してきたが、これらの様子を観察した結果を Fig. 9 および 10 に示す。上述の傾向が明瞭に

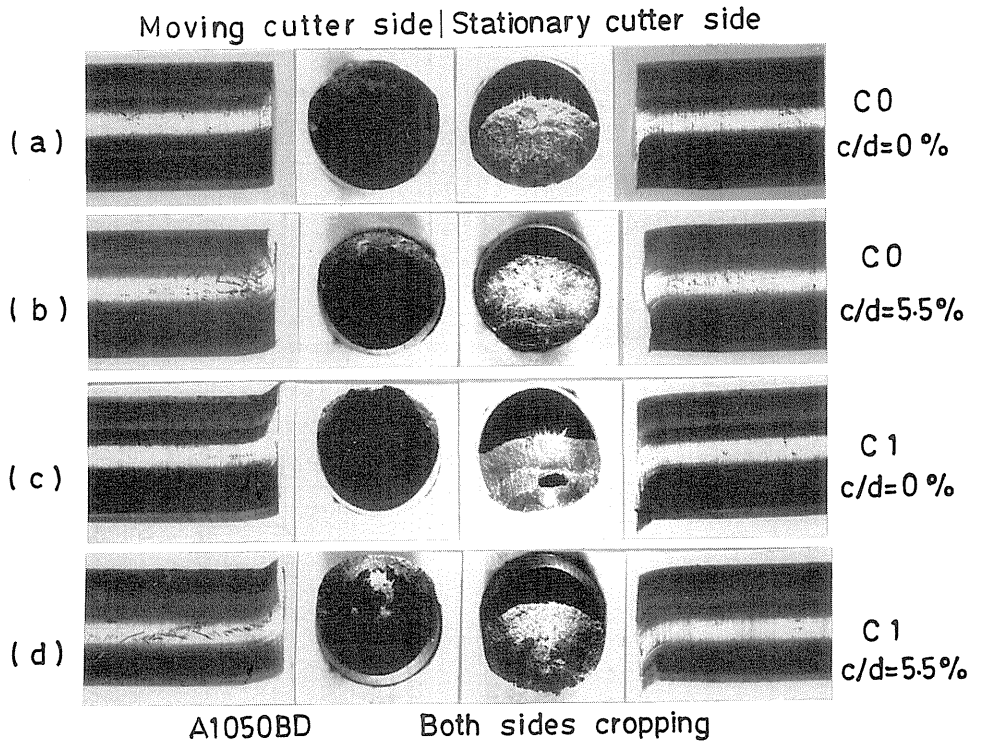


Fig. 9 Cropped surface of aluminum bar.

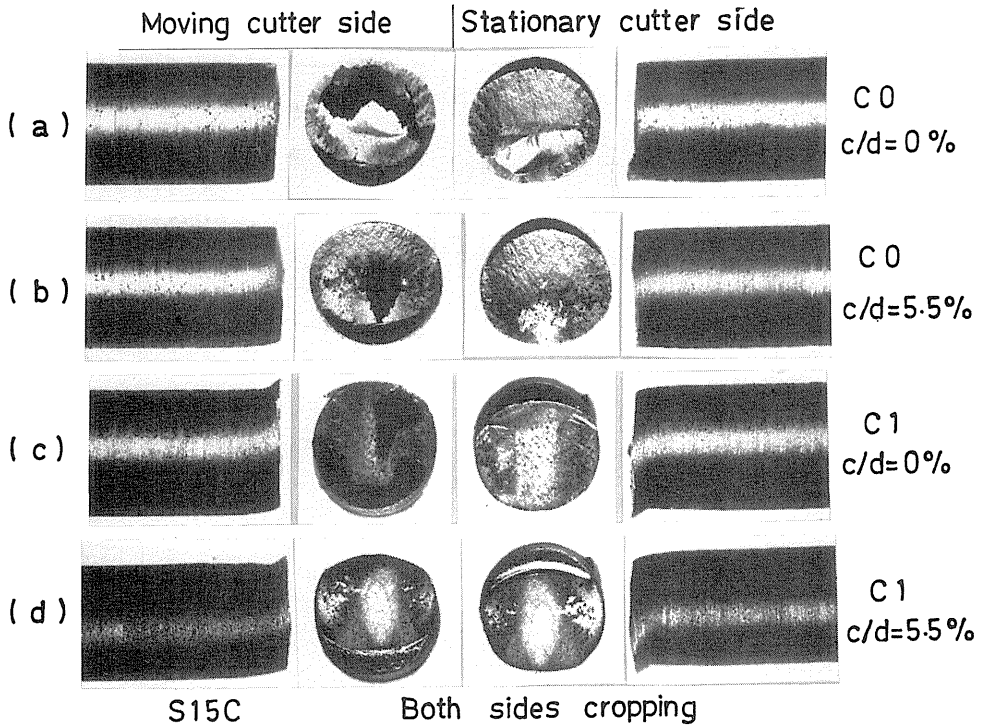


Fig. 10 Cropped surface of mild steel bar.

観察されよう。C1 工具によるせん断面には, 工具面取り部に流入した材料のばり状の突起が生ずる欠点があるが, C1 工具による切口面は平坦であるという特徴がある。

3.3 慣用工具と面取り工具の組み合わせによるせん断加工

以上の結果から, 移動工具側せん断切口面が, わずかに大きなせん断深さ比を示したので, 移動工具側に C0 を, また静止工具側に C0.5 または C1 を組み合わせて両面せん断を行った。その場合の切口面の傾斜角の変化を Fig. 11 に示す。移動工具側では, 傾斜角は 2° 以内であり, 静止工具側でも 1~3° の範囲となり, 比較的良好な切口面がえられる。

次に, Fig. 12 にせん断深さ比 a/d_1 の変化を示す。移動および静止工具側ともにせん断深さ比 a/d_1 は約 40~50% を示すが, 移動と静止工具として C0-C0.5

の組み合わせの方が, C0-C1 の組み合わせよりせん断深さ比 a/d_1 の値がわずかに大きい。

せん断切口面の観察例を Fig. 13 に示す。静止工具側で比較的平坦なせん断切口面を示すが, 移動工具側で平坦度が多少悪くなっている。

3.4 上界法による工具刃先面取り効果の検討

面取り工具によるせん断過程を Fig. 14 に示す。工具面取り部は AC, BE であり, 面取り寸法を a とする。また前報⁴⁾と同様に直径 d の丸棒を高さ d , 幅 $\pi d/4$ の長方形断面の板に換算し, 平面ひずみ変形せん断加工と仮定する。同図(a)は, 高さ d の材料に工具が S (ストローク) だけ押し込まれた状態を示し, そのときの速度不連続線を AB, BC および BD と仮定し, それによって変形が進行すると考える。この速度場に対する hodograph を同図(b)に示す。工具は速度 1 で下降すると考え, 材料のせん断降伏応力を k , AC および CD 上の摩擦力を $m k$ ($0 \leq m \leq 1$) と仮定すると, せん断荷重 P は片刃あたり

$$P = k \{ \overline{AB} \cdot v_{AB} + \overline{BC} \cdot v_{BC} + \overline{BD} \cdot v_{BD} + m (\overline{AC} \cdot v_{AC} + \overline{CD} \cdot v_{CD}) \} \quad (1)$$

で表わされ, 図に示す諸量を用いて表現すると,

$$P = k \left[\frac{(d-s+2a)^2 + c^2}{d-s+2a} + \frac{(d-s+a)^2 + (c+a)^2}{d-s+2a} + \frac{c(d-s+a)}{d-s+2a} \sec \varphi \operatorname{cosec} \varphi + m \left\{ \frac{2a^2}{d-s+2a} + \cot \varphi - \frac{mc(c+a)}{d-s+2a} \right\} \right] \cdot \frac{\pi}{4} d \quad (2)$$

$dP/d\varphi = 0$ より φ の大きさが定まり

$$\tan \varphi = \sqrt{\frac{m(d-s+2a) + (d-s+a)}{d-s+a}} \quad (3)$$

となる。ここで $d-s+2a \doteq d-s+a$, $(1 - \frac{s}{d} + \frac{2a}{d})^{-1} \doteq 1 + \frac{s}{d} - \frac{2a}{d}$ とし, せん断応力 $\tau_s (= P/(\pi d^2/4))$ を求めると,

$$\tau_s = k \left[2 \left(1 - \frac{s}{d} + \frac{a}{d} \right) + \frac{a}{d} + \left\{ \left(\frac{c}{d} \right)^2 + 2m \left(\frac{a}{d} \right)^2 + \left(\frac{c}{d} + \frac{a}{d} \right)^2 - m \frac{c}{d} \left(\frac{c}{d} + \frac{a}{d} \right) \right\} \left(1 + \frac{s}{d} - \frac{2a}{d} \right) + 2\sqrt{m+1} \cdot \frac{c}{d} \right] \quad (4)$$

がえられる。ここで $k = F \gamma^n$ (F : 定数, γ : せん断ひ

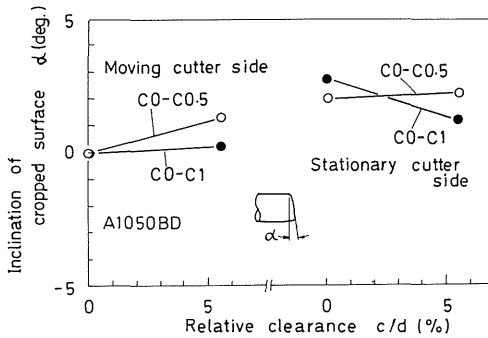


Fig. 11 Influence of tool combination on inclination of the cropped surface.

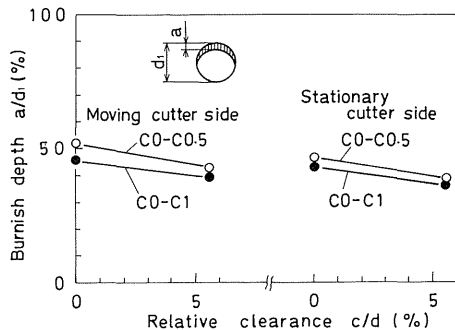


Fig. 12 Influence of tool combination on burnish depth.

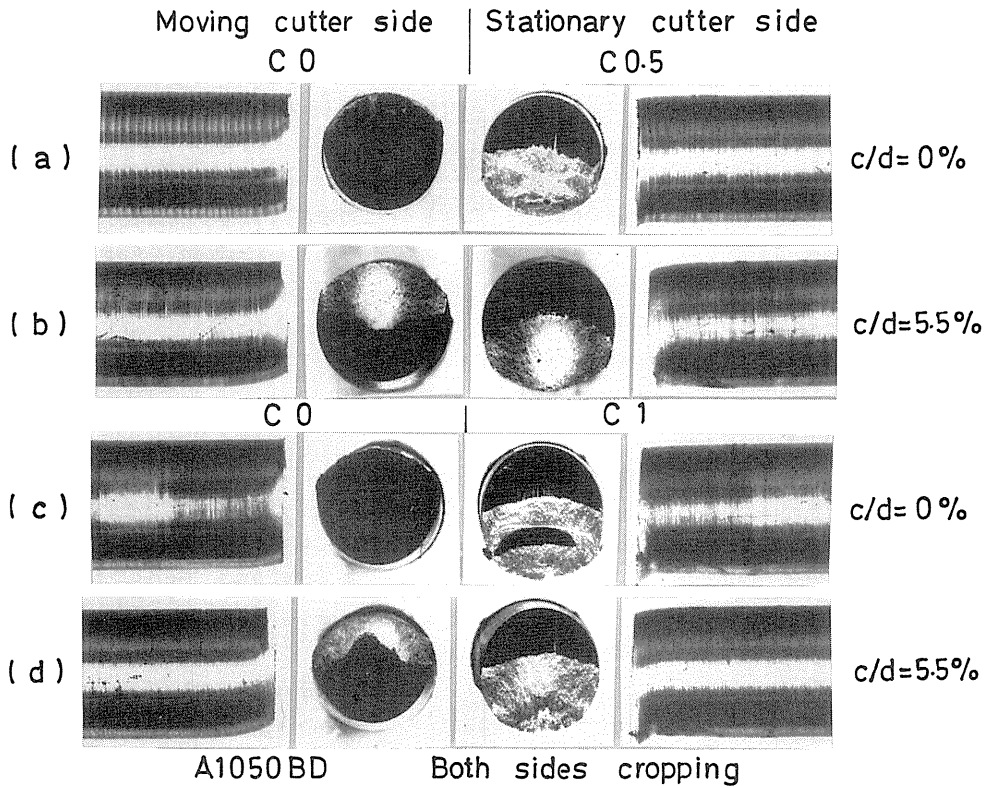


Fig. 13 Cut end surface of the aluminum bar cropped by combined tool apparatus.

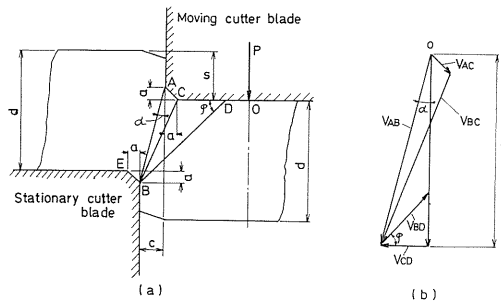


Fig. 14 (a) An upper bound solution for plane strain cropping with chamfered tool, (b) Hodograph.

ずみ)で材料の応力-ひずみ曲線を仮定すると、 $\gamma = s/c$ であるから上式は、

$$\tau_s = F \left(\frac{d}{c}\right)^n \left(\frac{s}{d}\right)^n \left[2 \left(1 - \frac{s}{d} + \frac{a}{d}\right) + \frac{a}{d} + \left\{ \left(\frac{c}{d}\right)^2 \right. \right.$$

$$\left. + 2m \left(\frac{a}{d}\right)^2 + \left(\frac{c+a}{d}\right)^2 - m \frac{c}{d} \left(\frac{c+a}{d}\right) \right\}$$

$$\left(1 + \frac{s}{d} - \frac{2a}{d} \right) + 2\sqrt{m+1} \cdot \frac{c}{d} \Big] \quad (5)$$

で与えられる。せん断抵抗は、 τ_s の最大値であるから $d\tau_s/d(s/d) = 0$ より τ_s が最大となる s/d の値が求められる。その値は

$$\frac{s}{d} = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{2 + \frac{3a}{d} + \left\{ \left(\frac{c}{d}\right)^2 + 2m \left(\frac{a}{d}\right)^2 + \left(\frac{c+a}{d}\right)^2 \right.}{2 - \left\{ \left(\frac{c}{d}\right)^2 + 2m \left(\frac{a}{d}\right)^2 \right.}$$

$$\left. - m \frac{c}{d} \left(\frac{c+a}{d}\right) \left(1 - \frac{2a}{d}\right) + 2\sqrt{m+1} \cdot \frac{c}{d} \right. \quad (6)$$

$$\left. + \left(\frac{c}{d} + \frac{a}{d}\right)^2 - m \frac{c}{d} \left(\frac{c+a}{d}\right) \right\}$$

となる。 $a=0$ のとき、すなわち刃先面取りをしない慣用工具の場合の s を s' とすれば、上式より

$$\frac{s'}{d} = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{2 + (2-m) \cdot \left(\frac{c}{d}\right)^2 + 2\sqrt{m+1} \cdot \frac{c}{d}}{2 - (2-m) \left(\frac{c}{d}\right)^2} \quad (7)^*$$

がえられる。式(6)と(7)を比較すると、 $a > 0$ であるから

$$\frac{s'}{d} < \frac{s}{d} \quad (8)$$

となる。せん断破壊は、 τ_s が最大値、すなわちせん断抵抗値に到達したときに生ずると考えてよいから、式(8)より面取り工具による場合の方がせん断抵抗が高くなり、またせん断切口面におけるせん断深さが大きくなるのが、以上の上界解からの説明される。

4. 結 論

丸棒材のせん断加工におけるせん断抵抗およびせん断切口面の性質におよぼす工具刃先面取りの効果について調査してきた。えられた結果をまとめると、次のようになる。

- (1) せん断荷重は、面取り工具の方が高く、また最大せん断荷重を示す工具ストロークも大きい。したがって、せん断抵抗値も面取り工具の方が高く、面取りしない工具の値より約9%程度高い。

- (2) せん断切口面の性質のうち、せん断切口面の傾斜は、相対クリアランスが5.5%以下では、工具刃先面取りによってほとんど影響されない。せん断深さは、面取り工具による切口面の方がわずかに大きい。とくに軟質のアルミニウム材でその効果が大きい。また、工具押し込みによって生ずるだれは、面取り工具によるせん断加工の方が大きい、その値は無視できるほど小さい。

- (3) 移動側に面取りしない工具を用い、静止側に面取り工具を用いてせん断することによって、移動および静止工具側ともに切口面におけるせん断深さ比をほぼ同等にでき、アルミニウム材でその値が約40~50%となった。

- (4) 面取り工具によるせん断抵抗の増大およびせん断深さの増加は、簡単な上界解によって説明される。

参 考 文 献

- 1) 工藤, 中川, 田村, 塑性と加工, 22-241(1981), 150.
- 2) 前田, 中川, 塑性と加工, 7-69(1966), 543.
- 3) 中川, 前田, 宮本, 生産研究, 22-9(1970), 4.
- 4) 大森, 山崎, 茨大工研集報, 31(1983), 179.

*最初から $a = 0$ として求めた前報⁴⁾の上界値と多少異なる。