

棒材のせん断特性におよぼす軸圧縮応力の影響

大森宮次郎*

(昭和60年9月5日受理)

Effect of Axial Compressive Stress on the Shearing Properties of Bar Material

Miyajiro OHMORI*

Abstract — Shearing tests on mild steel and aluminum round bars have been carried out using conventional shearing tools and applying axial compressive stresses. In the tests, the clearance between the punch and the stationary die was varied in three stages from 0 to 11% of the bar diameter. The applied axial compressive stress was up to about 45% of the ultimate tensile strength for the mild steel and up to about 94% for the aluminum bar. Two or three main cropping properties of bar materials have been investigated.

Shearing resistance increases with axial compressive stress, and its maximum increment amounts to about 26% or more. The inspections of the sheared surface have, however, shown that the applied axial compressive stress is efficacious in decreasing the inclination, increasing the burnish depth and reducing the diametral distortion in the sheared end profile.

1. 緒 言

せん断切口面は、だれ、せん断面、破断面およびかえり等から構成されるが、比較的大きな部分を占める破断面は、せん断切口面の品質の観点から好ましくない。特に冷間鍛造用の素材としてせん断される丸棒材では、切口面における破断面の存在は、棒材軸線に対する切口面の直角度を悪化させ、鍛造時の座りの安定性を欠くばかりでなく、鍛造割れの原因にもなりかねない。そこで、破断面を可能な限り少なくすることが重要であり、それには被せん断材に静水圧を加えてせん断過程の破壊開始を遅らせる方法が、最も効果的であることが示されて¹⁾い²⁾る。棒材には通常、軸圧縮応力が加えられ³⁾る⁴⁾が従来示されてきた工具装置は、多少複雑であったことは否定できない。

本研究では、通常の丸穴および半丸穴せん断工具を用

い、比較的簡単な方法で棒材に軸圧縮応力を作用させてせん断加工を試み、せん断特性におよぼす軸圧縮応力の影響を調査した。以下にその結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 せん断工具

Fig. 1 にせん断工具とその配置を模式的に示す。材料の切り落される部分の先端をストッパーとなるロードセルに当て、軸圧縮力を棒材の後方から加える方法をとった。圧縮荷重は、簡単なねじ式万力により加えた。この荷重方法は、切り落す部分に常に一定の圧縮応力を加えることはできないが、装置が単純で実用的であるという利点がある。型すなわち静止工具は、内径10mmの丸穴、パンチすなわち移動工具は、半径5mmの半丸穴をもつものである。工具材質は、ダイス鋼SKD11で、JIS規定の熱処理を行なって使用した。

* 茨城大学工学部機械工学第二学科（日立市中成沢町）

Department of Mechanical Engineering II, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316, Japan

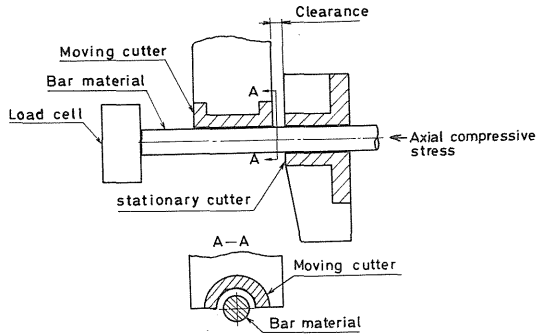


Fig. 1 Schematic representation of shearing tool apparatus.

2.2 実験材料

実験には機械構造用炭素鋼の S15C (以下軟鋼と呼ぶ) およびアルミニウム棒材の A1050BD を使用した。いずれも直径 10mm の市販品である。受け入れ状態の材料の機械的性質を Table 1 に示す。

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

荷重源として万能材料試験 (10ton) を用い、速度 2 ~ 5 mm/min でせん断試験を行なった。被せん断材は、上述の購入材を直径 9mm に旋削加工し、静止工具穴との間に 1.0mm の隙間を与えた。静止工具側の材料保持方法は、自由支持とした。静止工具と移動工具間のクリアランス c を棒材直径 d との相対値 c/d で 0, 5.6% および 11.0% の 3 段階に変化させた。また、棒材に加える軸圧縮応力は、初期値で、軟鋼材に対しては引張強さの約 45% までとし、またアルミニウム材には約 94% まで加えた。せん断試験は、いずれの場合も一面 (または片側) せん断で行ない、同一条件で 4 回の繰返しを行ない、結果をその平均値で表わした。

せん断切口面の輪郭形状は、接写写真上で測定した。また直径ゆがみは、切口面上で直接測定した。

3. 実験結果と検討

3.1 せん断荷重—ストローク曲線および軸圧縮力曲線

Fig.2 は、せん断荷重—ストローク曲線への軸圧縮応

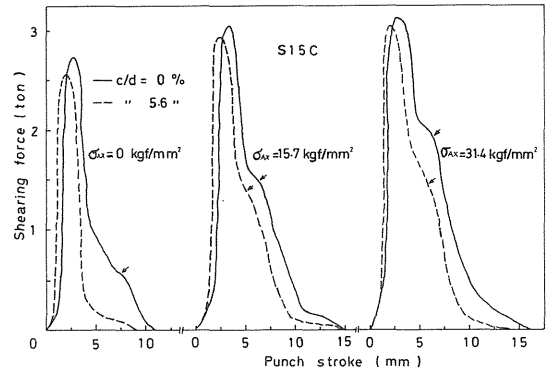


Fig. 2 Examples of shearing force-punch stroke diagram of mild steel.

力の影響を示す軟鋼材の例である。ただし、軸圧縮応力の大きさは、せん断加工する前の初期値で示してある。軸圧縮応力の増加によりピーク荷重が上昇する。クリアランスを与えた場合の方が、ピーク荷重が低い。アルミニウム材の場合も同様の傾向を示した。

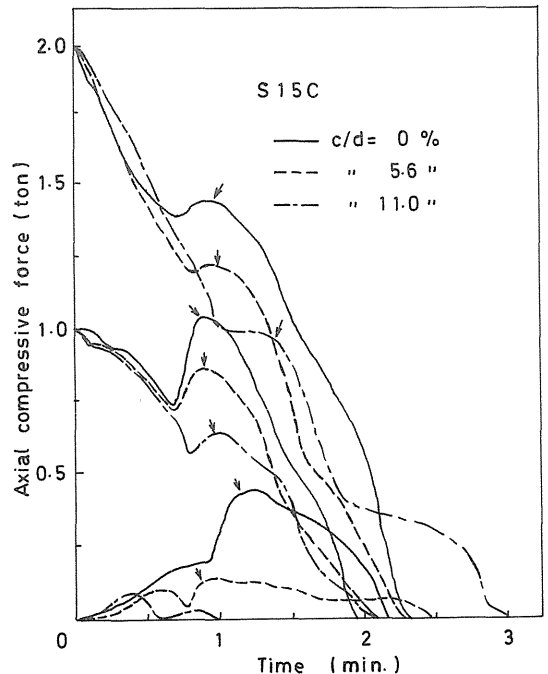


Fig. 3 Examples of variation curve of axial compressive force during shearing.

次に、せん断過程中の軸圧縮力の変化の様様をFig. 3に示す。軟鋼の場合で、軸圧縮力0, 1000kgf (初期応力で $15.7 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$) および 2000 kgf ($31.4 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$) を加えた例である。軸圧縮力が0の場合でも、せん断過程の進行にともない軸圧縮力が生じ、クリアランス $c/d = 0$ のときの2次せん断発生(矢印)で比較的大きな軸圧縮力となることがわかる。2次せん断の発生によって軸方向の推力が生ずる証左と言えよう。次に、軸圧縮力を作用させた場合、せん断過程の進行とともに軸圧縮力が徐々に低下し、その傾向は、加えた圧縮力の大きいほど著しい。また、クリアランスの大小に関係なく、軸圧縮力を加えることによって2次せん断が生じ、軸圧縮力にピーク(矢印)が生じる。このピーク軸圧縮力は、クリアランスが大きくなるほど低くなり、2次せん断規模の減少を示唆する。

3.2 せん断抵抗

Fig. 4 および 5 にせん断抵抗におよぼす軸圧縮応力の影響を示す。せん断抵抗は、軸圧縮応力の増加とともにほぼ直線的に上昇する傾向を示す。そのせん断抵抗は、クリアランス0の場合が最も高く、クリアランスの増加により低下する。

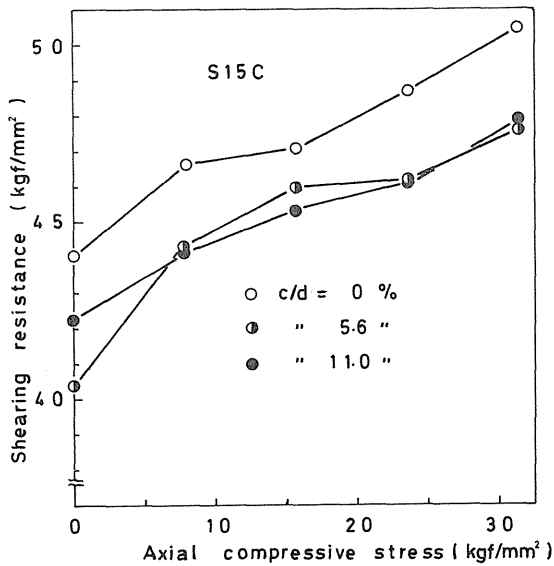


Fig. 4 Effect of axial compressive stress on shearing resistance of mild steel.

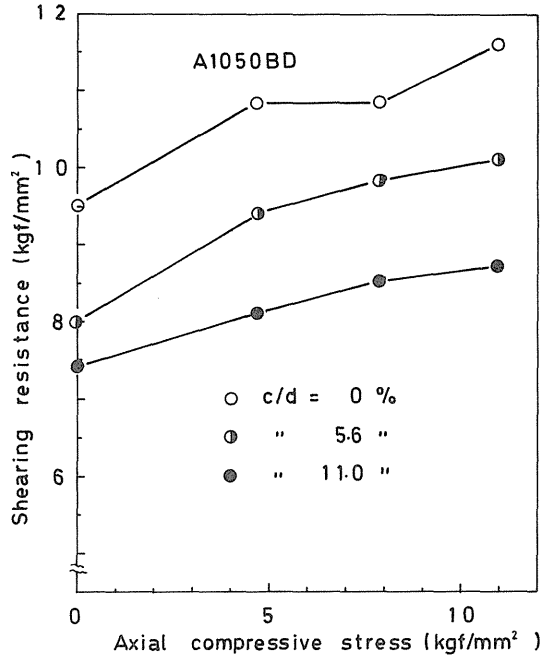


Fig. 5 Effect of axial compressive stress on shearing resistance of aluminum.

次に、軸圧縮応力0の場合を基準にとり、軸圧縮応力を作用させた場合のせん断抵抗の増加をFig. 6に示す。

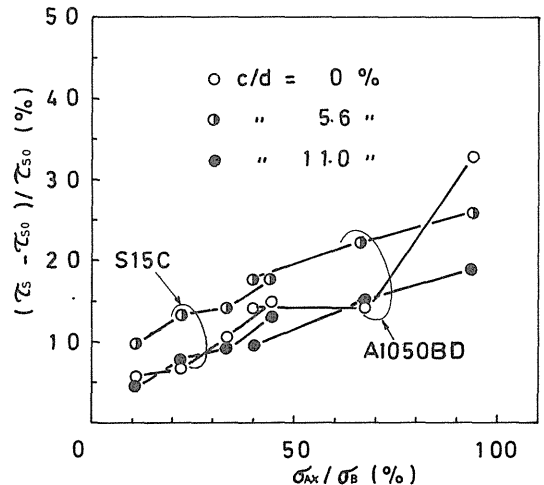


Fig. 6 Relation between increment of shearing resistance and the ratio of axial compressive stress to ultimate tensile strength.

図の横軸は、引張強さ σ_B に対する軸圧縮応力 σ_{AX} の比 σ_{AX} / σ_B (%) で表わしてあり、また縦軸 $(\tau_s - \tau_{s0}) / \tau_{s0}$ の τ_{s0} および τ_s は、それぞれ軸圧縮応力を加えないときおよび加えたときのせん断抵抗を表わす。せん断抵抗の増加 $(\tau_s - \tau_{s0}) / \tau_{s0}$ は、軸圧縮応力比 σ_{AX} / σ_B の増加

とともに上昇し、軟鋼材とアルミニウム材ではほぼ連続した傾向を示す。たとえば、 $\sigma_{AX}/\sigma_B=94\%$ のとき、クリアランス $c/d=5.6\%$ の場合でせん断抵抗の増加は、約26%となる。

3.3 せん断切口面の性質

3.3.1 切口面の傾斜

Fig.7 および 8 に切口面傾斜におよぼす軸圧縮応力の影響を示す。切口面傾斜は、挿入図に示すように棒材軸線に対する垂直な面からの傾き角 α をもって表わしてある。静止工具側では、切口面傾斜は、軸圧縮応力の影響をほとんど受けず 1 度前後、2 度未満の値を示している。また、クリアランスの影響もほとんどない。移動工具側では、切口面傾斜は、軸圧縮応力の効果が大きく、軸圧縮応力の増加により傾斜は急激に小さくなる。しかし、軟鋼の場合、軸圧縮応力が約 $24 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ (引張強さの約35%) 以上で、またアルミニウム材の場合 $\sigma_{AX} = 4.7 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ 以上で傾斜角は大きな変化がなく、2 度前後

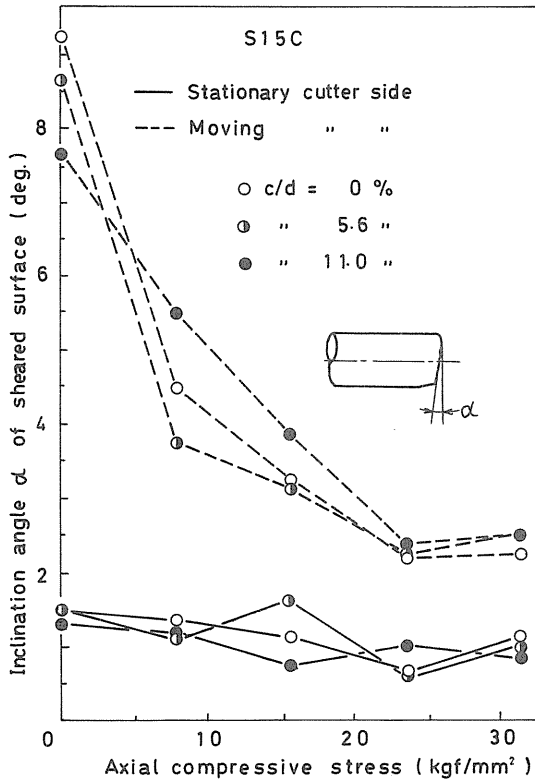


Fig. 7 Effect of axial compressive stress on inclination angle of sheared surface in mild steel.

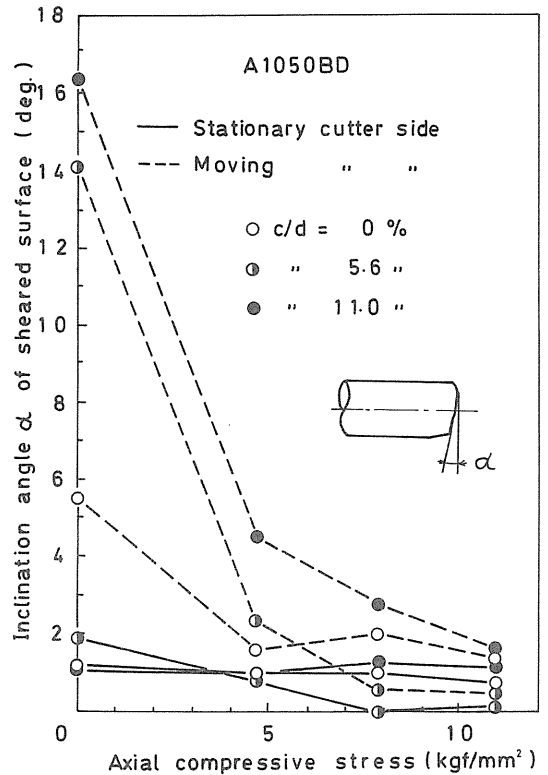


Fig. 8 Effect of axial compressive stress on inclination angle of sheared surface in aluminum.

の値に落ちつく。

3.3.2 せん断面深さ

せん断面深さにおよぼす軸圧縮応力の影響をFig.9 および10に示す。せん断面深さは、せん断力方向の切口面直径 d_1 に対する最大のせん断深さ a との比 a/d_1 (%) で表わしてある。この場合、2次せん断面も含めてある。両材料ともに軸圧縮応力の増加とともにせん断面深さ a/d_1 が増加し、その傾向は移動工具側の方が大きく、またクリアランスの小さほど a/d_1 の値が大きくなる傾向を示す。たとえば、軟鋼で軸圧縮応力0、 $c/d=5.6\%$ の場合、 a/d_1 の値が移動工具側で約34%、静止工具側で約14%と低いのに対し、同じクリアランスで軸圧縮応力 $31.4 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ (引張強さの約45%) を加えた場合、 a/d_1 の値が移動工具側で約55%、静止工具側で約50% に改善される。またアルミニウム材をクリアランス $c/d=5.6\%$ 、軸圧縮応力 $11 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ (引張強さの94%) の条件でせん断する場合、せん断面深さ a/d の値が、移動工具側で軸圧縮応力0の場合の約66%から約90%強まで上昇する。しかし、静止工具側では、軸圧縮応力の効

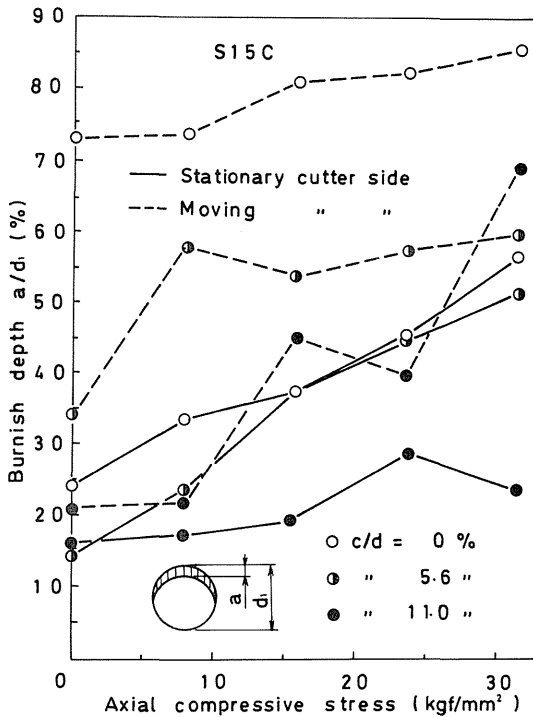


Fig. 9 Variation of burnish depth with axial compressive stress.

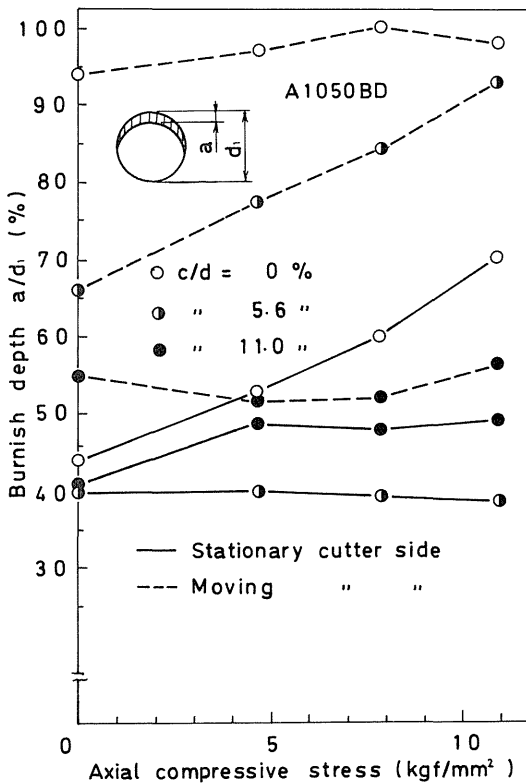


Fig.10 Variation of burnish depth with axial compressive stress.

果が小さく a/d_1 の値は約40%と変らない。

本研究のように棒材後から軸圧縮応力を加え、一面せん断する場合、せん断過程中に軸圧縮力の降下が生じるので、き裂発生を遅らせる効果が弱まる欠点があるものの、せん断面を増す効果は大きいと言えよう。軸圧縮応力が、静水圧効果をもち、刃先における材料部の延性を増し、破壊の開始を遅らせる効果は十分にあると考えてよいであろう。

せん断深さ比 a/d_1 を圧縮応力比 σ_{AX} / σ_B を用いて整理するとFig.11を得る。ただし図にはクリアランス c/d

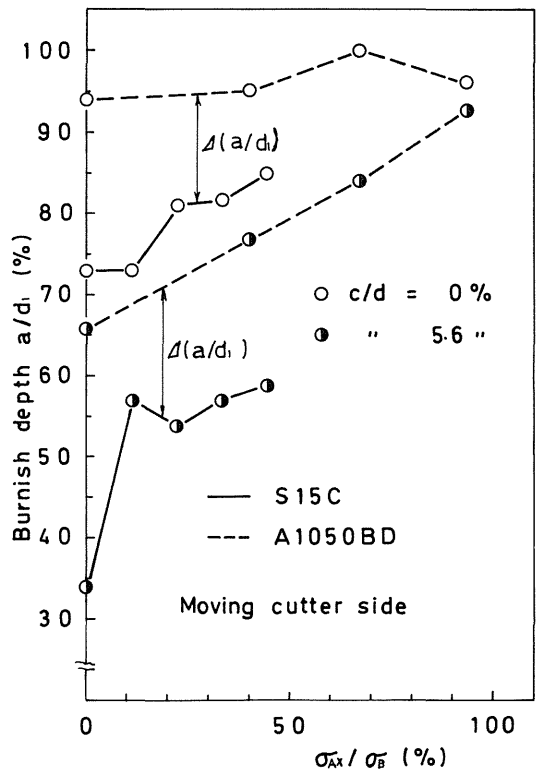


Fig.11 Relation between burnish depth and the ratio of axial compressive stress to ultimate tensile strength.

= 0 および 5.6% に対する移動工具側のデータのみを示した。クリアランスおよび軸圧縮応力比 σ_{AX} / σ_B の同じ値に対し、軟鋼とアルミニウム材間にせん断面深さ a/d_1 の差が常に存在する。このことは、せん断面深さに対する軸圧縮応力の効果が材質によって異なることを意味する。これには、材料の延性が強く関連する⁵⁾ものと考えられる。

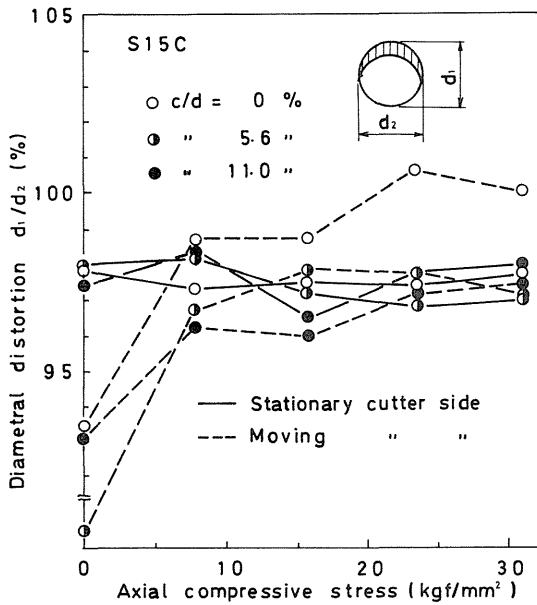


Fig.12 Effect of axial compressive stress on diametral distortion of sheared surface in mild steel.

3.3.3 切口面の直径ゆがみ

せん断過程において、材料は移動工具の運動方向に圧縮され、それと直角方向に伸びる。そこで、切口面における移動工具の運動方向の直径を d_1 、それと直角方向の直径を d_2 とすると、 $d_1/d_2(\%)$ で直径ゆがみを定義した。切口面の直径ゆがみ d_1/d_2 におよぼす軸圧縮応力の影響をFig. 12および13に示す。軸圧縮応力を加えない場合、切り落される部分の水平姿勢が維持されにく

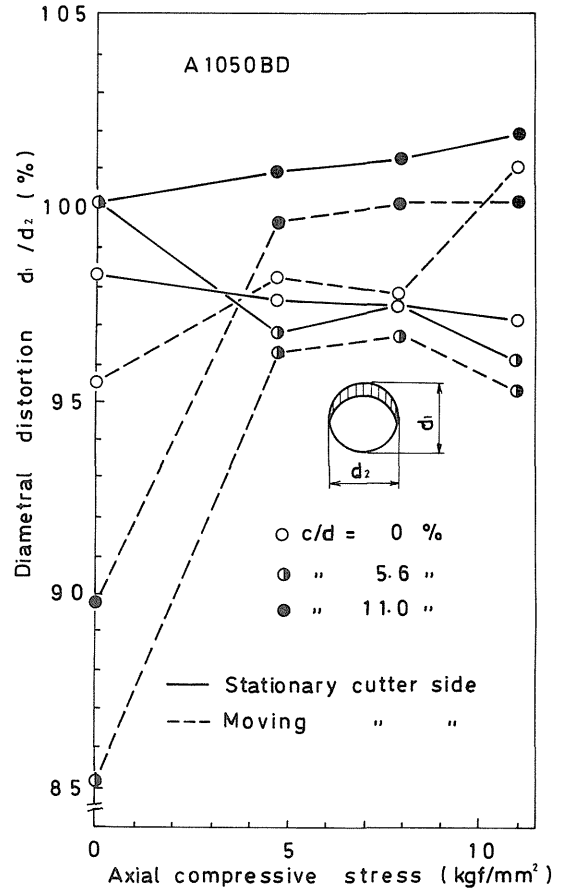


Fig.13 Effect of axial compressive stress on diametral distortion of sheared surface in aluminum.

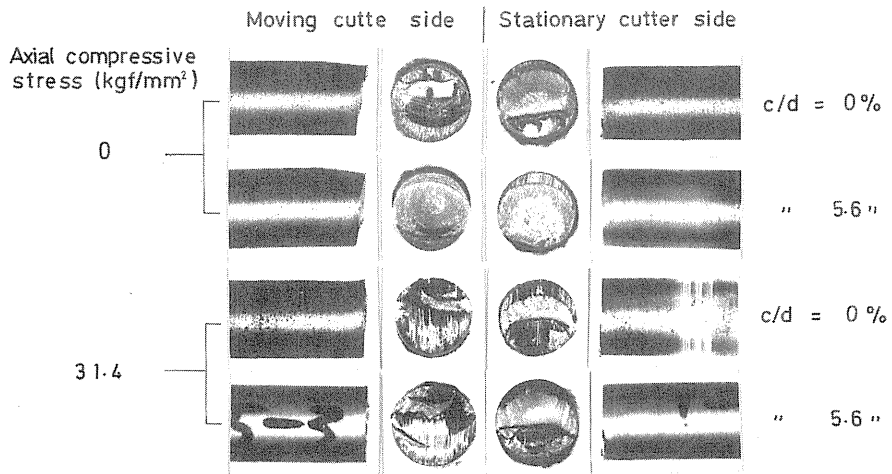


Fig. 14 Appearance of sheared surface in mild steel.

く、移動工具側で直 d_1 が大きくなり、結果的に直径ゆがみ d_1/d_2 が増す。軸圧縮応力を作用させることによって切口面直径ゆがみが小さくなり、その値 d_1/d_2 は約95%以上となる。この場合、直径ゆがみ d_1/d_2 は、軸圧縮応力の大きさによって大きく変化しない。

以上の結果から、軸圧縮応力は、切り落される部分の水平姿勢拘束効果と静水圧による破断発生の遅延効果をもつものと考えてよいであろう。

3.3.4 せん断切口面の観察

Fig. 14にせん断切口部の輪郭形状の例を示す。軸圧縮応力を作用させることによって、切口面傾斜が小さくなり、またせん断面の増加するのが明瞭に観察される。

4. 結 論

通常の棒材せん断に用いる丸穴および半丸穴せん断工具を用い、棒材の後方からせん断部分に軸圧縮応力を加え、一面せん断法によって棒材のせん断特性におよぼす軸圧縮応力の効果を調べた。得られた結果を以下にまとめる。

(1) せん断抵抗は、軸圧縮応力の増加とともにほぼ直線的に増加する。軸圧縮応力比 σ_{AX}/σ_B を用いてせん断

抵抗の増加率を整理すると、軟鋼およびアルミニウム材について両者の関係が連続する傾向を示す。軸圧縮応力比が増すと、せん断抵抗の増加率も増加する。クリアランス $c/d = 5.6\%$ 、軸圧縮応力比 $\sigma_{AX}/\sigma_B = 94\%$ の場合、せん断抵抗の増加率は約26%となる。

(2) せん断切口面の幾何学的特性のうち切口面傾斜は、軸圧縮応力の増加により減少し、軟鋼およびアルミニウム材ともに棒材軸線に垂直な面に対し約2度前後の傾斜角まで減少する。せん断面深さは、軸圧縮応力とともに増加し、特に移動工具側でその効果が顕著となる。また、切口面の直径ゆがみは、軸圧縮応力の作用により小さくなり、移動工具側切口面で効果が大きい。

参 考 文 献

- 1) 渡辺, 熱処理, 18-6 (1978), 331.
- 2) 村川, 鉄と鋼, 71-1 (1985), 27.
- 3) 前田, 中川, 塑性と加工, 7-69 (1966), 543.
- 4) 篠原, 宮川, 塑性と加工, 20-220 (1979), 398.
- 5) 大森, 山崎, 茨大工研報, 31 (1983), 179.