Review



M. Murata

切刃が面内方向に移動するせん断加工

村田 眞*

1. 諸言

現在使用されている板材のせん断加工は、慣用せん断と精 密せん断加工に大別される. これらのせん断加工は高能率で あるため、生産現場で多用されている.精密せん断加工にお いては、シェービング、仕上げ抜き、精密打抜き法、対向ダ イス打抜き、上下抜き、振動仕上げ抜きがある.以上すべて のせん断加工法では、ポンチとダイスを用いて、ポンチが板 に対して垂直に移動し、板にせん断変形を生じさせる. その 場合良好なせん断を行うには、板の厚さに応じて、ポンチと ダイスノの間にクリアランスを設ける必要がある.そのため, 切口面のせん断機構は複雑となり、切口面にだれやかえりが 発生する欠点がある.近年,加工技術の高度化および製品の 多様化にともなって、フレキシブルな切断加工技術が注目さ れており,工具を板材の面内方向に移動させる切断加工もそ の一つである.この切断加工では、押さえ板(ダイスに相当 する)と工具(ポンチに相当する)の間のクリアランスを, 零にすることができるため、せん断加工条件を適切に設定す れば、切口面をほぼせん断面のみにすることが、可能となる.

しかしながら、この加工法における適切な工具形状、クリ アランスなどの加工条件や、切口面の特徴は、筆者の論文意 外全く説明されていない.この加工法は従来の方法に比べて、 3次元的な変形領域を持つため、実用化のためには、この複 雑な加工特性を事前に明らかにしておく必要がある.そこで、 本解説では以下のことを説明する.

- (1) 本加工法と従来のせん断加工法を比較し、本加工法の 有効性を検証する.
- (2) 本加工法における重要なパラメータである工具傾斜角や クリアランスが、加工力や切口面の状態などに与える影響を検討し、最適な加工条件の範囲を明らかにする.
- (3) 工業によく使われる板材(A1100, A5052, SPCC, C1100)を用いてせん断を行い、板材の板厚と材質の影響を説明する.以上によって、産業界での実用化の可能性を考察する.

2. 研究の方法

2.1 加工装置

本研究で扱う工具を板材の面内方向に移動させる新しいせん断法の加工略図を Fig.1 に示す.本加工法では、同図のように工具が板材面内方向に移動するため、だれやかえりが小さくなることが期待される.まず、同図 (a) に示すようにまず板材を板押さえで固定する.ダイスの切刃を斜線で表す. 板材を矢印の方向に移動させると、固定されている工具によって板材が下方に押され、工具とダイス切刃によって板材

*電気通信大学 名誉教授



Fig.1 Schematic illustration of new shearing

にせん断が発生し、工具が板材の面内方向に移動して板材が 切断される.本加工法は、板材の駆動装置を除けば、工具と 板押えを使用するだけである.

2.2 工具の形状

実験に使用した工具の形状を **Fig.2** に示す.実験に使用した工具は傾斜角を有し、工具幅 S_w =3.2mm,長さ S_i =16.0mm とした.工具傾斜角 α が加工に与える影響を明らかにするため、 α =10~70°の範囲で 10 種類の工具を用意した.材料には 焼入れ処理を行った合金工具鋼の SKD11 を用いた.



Fig.2 Dimension of tool

3. 解説内容

3.1 工具傾斜角が切口面等に及ぼす影響

本加工法と従来のせん断加工法を比べて,加工力や切口面 性状を検討し,本加工法の有効性を明らかにした.本加工 法において,加工力はシャーリングより著しく低減され,さ らに,**Fig.3**に示されるように高い精度の切口面が得られる.

工具の傾斜角が加工力や切口面性状に与える影響を明らか にした. Fig.4 に示されるように,工具傾斜角 α=15 ~ 45° に



Fig.3 Photographs of cross section in conventional shearing and new shearing

おいて、せん断力 F,水平方向加工力 F_h ,垂直方向加工力 Fvは小さな値を取った.この工具傾斜角の間でせん断が無理な く行われていることが推測される。Fig.5 に示されるように、 工具傾斜角 $\alpha=20 \sim 45^{\circ}$ の範囲では、せん断面の割合が大きく、 かえり高さが小さく、切口面の表面粗さが小さい.



Fig.4 Effect of tool angle on cutting force



Fig.5 Effect of tool angle on area fraction of sheared surface

3.2 クリアランスが切口面に及ぼす影響

クリアランス C₁が被加工材の切口面の状態に与える影響 を検討するために, Fig.6(a)に示すように, a 方向から水平 方向切口面 (A)を, b 方向から垂直方向断面 (B)を観察し た. せん断過程における変形機構を検討するために, せん 断加工を停止し, Fig.6(b) に示す Section 1~4 の断面を考察する. Section 1~4, はそれぞれ工具が板厚 t₀に対して約 20%, 40%, 80%, 100% まで食い込んだ状態である. Section 2 における, 被加工材断面, 工具, 板押えとダイスの関係を例に, Fig.6(c) に示す.



(a) Directions of observation and cross sections



(b) Position of vertical cross sections



(c) Illustration of vertical cross sections at section 2Fig.6 Schematic illustration of cross sections

工具傾斜角 a=25°において, Section 1~4 の状態を Fig.7 に 示す. 同図 (a) に示すように, クリアランス C=0mm で, 食 い込みが 20% に達した状態では, 工具先付近 (P1 部) に 平滑なせん断面が生ずる. さらに, 食い込みが進行した Section 2~4 の状態においては, せん断面が継続して生成され る. 一方,ダイス刃先付近 (P2 部) に初期亀裂が発生するが, 切断が終了するまで, この亀裂は成長しない. そのため, こ の場合の切口面はほぼせん断面のみで形成される.

クリアランス $C_{=0.15mm}$ の切口状態を同図 (b) に示す. Section 1 では、クリアランス $C_{=0mm}$ の場合と同様、せん断 面が生じている. 一方、食い込みが板厚 t_0 の約 40% に達す ると、被加工材の工具切刃付近 (P3 部) にわずかに亀裂が 発生する. さらに、被加工材のダイス切刃付近 (P4 部) には、 大きな亀裂が発生し、破断面が生ずる. それ以後、Section 3 の写真に見られるように、上下の亀裂が成長し会合して、切 断が終了する. その結果、切口面はせん断面と破断面で形成 される. クリアランス $C_{=0.3mm}$ の切口状態を同図(c)に示す.



Fig.7 Photograph of cross sections in shearing process (α =25°)

Section 1 では、クリアランス $C_{i=0.15mm}$ の場合と同様、せん断面が生じている.一方、食い込みが板厚 t_0 の約 40% に達すると、工具切刃付近(P5部)とダイス切刃付近(P6部)に大きな亀裂が発生する. Section 3 の写真に見られるように、切断が進行すると、ダイス側に発生した亀裂と工具側に発生した亀裂が会合して、被加工材は破断分離する.その結果、切口面はせん断面と破断面で形成されるが、 $C_{i=0.15mm}$ の場合より、亀裂の発生が早いため、破断面の割合はより大きくなる.

工具傾斜角 a=25°と45°において,切断後の水平方向切 口面 (A)と垂直方向断面 (B)の状態を Fig.8 と Fig.9 に示す. 工具傾斜角 a=25°の結果 (Fig.8) において,クリアランス



Fig.8 Photograph of cut surfaces and cross sections (α =25°)



C=0mmの場合, Fig.7 で説明したように、ダイス切刃付近に 初期亀裂が発生するが、せん断においてこの亀裂は成長しな いため、切口面はほぼせん断面のみである.一方、クリアラ ンス C_1 が増加すると、ダイス切刃付近からの亀裂が早く発 生する.その結果、クリアランス C_1 の増加にともない、破 断面が増加し、せん断面が減少する.この傾向は、 $\alpha=45^\circ$ の 結果(Fig.9)においても見られる.

本加工法において切口面におけるせん断面と破断面の割合 と、クリアランス C_i の関係を **Fig.10** に示す. Fig.6 で説明し たように、工具傾斜角 $a=25^\circ$ と $a=45^\circ$ の場合はともに、クリ アランス $C_i=0$ mmの切口面はほぼ全域でせん断面となってい る. 一方、クリアランス $C_i=0.05$ mmから、切口面の下方に 破断面が生じている. クリアランス C_i が増加すると、破断 面の割合が増加し、せん断面の割合が減少する. $C_i=0.3$ mm の場合、破断面が約 65% に達した.





切口面の傾きとクリアランス C₁の関係を Fig.11 に示す. せん断面の傾き y_s はクリアランス C₁によらず,ほぼ一定の 値 y_s=90° となった.一方,破断面の傾き y_fは,クリアラン ス C₁の増加にともない増加する.これはダイス刃先付近か らの亀裂と,工具刃先付近からの亀裂の会合により形成さ れるためと考えられる.Fig.7 に示す断面の状態より, y_fは



Fig.11 Effect of clearance on inclination angle of sheared and fractured surfaces

破断面高さ h_f の - C_l に対する比の逆正接に近い値を取ることがわかる. C_l の増加にともない,破断面高さは増加する. C_l の増分が,破断面高さの増分より大きいため, C_l の増加にともない γ_f が大きくなる. なお,破断面の傾き γ_f のプロット点が, $C_l \leq 0.05$ mmにおいて存在していないのは,全域がせん断面となり,破断面は存在しないためである. このことは,Fig.8 で説明した,切口面に生ずるせん断のメカニズムより推測できる.

本加工法において,クリアランス C=0.05mm以下にすると, せん断面がほぼ 100% の切口面が得られ,その切口面の角度 を直角とすることが可能となった.

Fig.12 に示されるように、工具傾斜角αに関係なく、垂直 方向加工力 F_v はクリアランス $C_{i=0} \sim 0.3$ mmの範囲でほぼ 一定の値となった.水平方向加工力 F_h も、 $C_{i=0.1} \sim 0.3$ mm の範囲でほぼ一定の値となった.水平、垂直方向加工力 F_h , F_v は増加する.せん断面と破断面の割合と、板の厚さの関 係を**Fig.14** に示す.工具の傾斜角αに関係なく、板の厚さ



Fig.12 Effect of clearance on cutting force



Fig.13 Effect of thickness on cutting force



Fig.14 Effect of clearance on area fraction sheared and fractured surfaces

t=0.25mm から t=1.2mm までの範囲では、ほぼ全域でせん断面のみとなり、理想的な切断となっている.4種(A1100, A5052, SPCC, C1100)の材料ともに、Fig.15に示されるように、クリアランス C₁が小さい加工条件で、せん断面の割合が大きく、かえり高さが小さく、きれいな切口面が得られる.



Fig.15 Effect of clearance on ratio of sheared and fractured surfaces in different strip materials (α =25°)

4. 結言

本せん断加工において、工具やダイスの形状と、板材の押 さえは切口面の精度に大きく影響することを説明した。新 しいせん断においてメカニズムや最適な加工条件等を解説 した.本研究の結果は工業技術の発展に寄与するものと考 えている.以上に加えて、円弧や折線から切るフレキシブ ルな切断線形状を実現するため、新しい実験装置を試作し、 Fig.16に示すように、長方形、三角形、円弧などの切断加工 を行った.この事により、本加工は曲線や折線ができること を検証した.



Fig.16 Photograph of products by new shearing method

謝 辞

本研究は財団法人天田金属加工技術振興財団(現公益財団 法人天田財団)のご援助により研究開発を行うことができま したことをここに記し,同財団に心より感謝の意を表します.

参考文献

- 路大涛,村田眞,久保木孝,金英俊:輕金属学会誌「軽 金属」,第61巻,第3号,2011,100-106.
- Datao Lu, Murata Makoto, Kuboki Takashi, Yingjun Jin : Int. J. Ad. Manuf. Technol. (2011), 57, 647-653.
- Datao Lu, Makoto Murata, Takashi Kuboki, Yingjun Jin:Proceedings of 12th Int. Conf. on Aluminium Alloys, 548-553, Sep/2010.