切刃が板幅方向に移動するせん断加工

電気通信大学大学院　知能機械工学専攻
教授　村田　眞
(平成 22 年度　一般研究開発助成 AF-2010012)

キーワード:　せん断，工具傾斜角，クリアランス

1. 緒言

従来のせん断加工は高能率であるが，工具を板材に垂直な方向に移動させ，板材を切断するため，切口面に大きなだれやかえりなどの不良変形が発生しやすい．このため，かえりの除去や切口面の修正などの後加工が強いられている．精密せん断法には仕上げ抜き法，精密打抜き法，上下抜き法などがあるが，それぞれ長所と短所を有する．仕上げ抜き法はゼロクリアランスで亀裂発生を防止し，破断面のない切口面が得られる．短所はだれが大きいことである．精密打抜き法の長所は切口面の寸法精度が高いことで，短所はかえりが発生すること．上下抜き法の長所はかえりがないが，一般プレスの場合は２工程を要し，生産効率が低い．従来のせん断加工法に対して，精密せん断法ではほとんど専用金型及び専用プレスを必要とし，装置と生産コストが高いという欠点がある．また，金型通りの形状にしか切断できない．一方，産業界ではせん断加工は，下工程で使われることが多いために，少量多品種への対応が求められている．

本研究では，これらの課題を解決するために，比較的簡便な装置を用いて，これまでの通常のせん断加工と同様，あるいはそれ以上の良好な切口面を有する新しい切断加工法の技術確立に取り込む．その一つの可能性を示す切断法として，工具を板材の面内方向に移動させる新しいせん断加工法が提案されている．この加工法の特徴は，切刃を水平方向に移動させることで，簡便な装置で自在な切断ラインが得られることが期待されている．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，切口面のメカニズムは全く

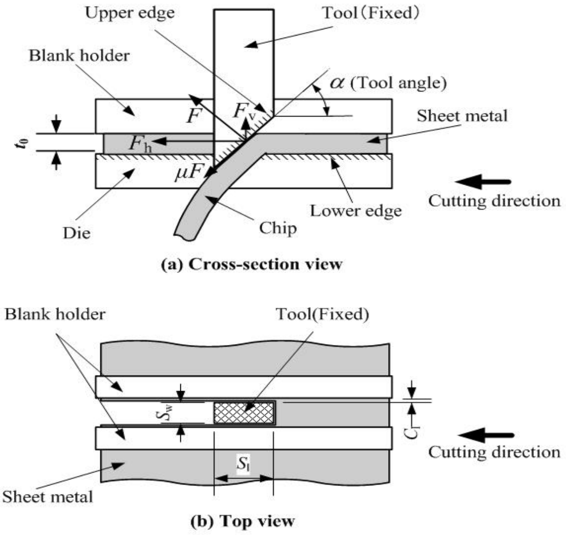


Fig.1(a)　Schematic illustration of new shearing

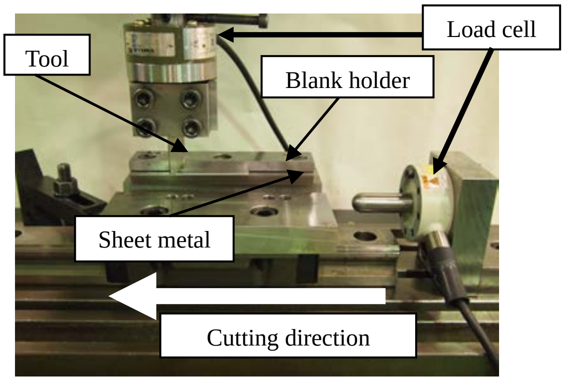


Fig.1(b)　Photograph of experimental set-up

解明されていない．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．そのため，様々な加工条件において，基礎的な加工特性をしらべ，せん断メカニズムを明らかにするため，実験および数値解析を検討した [1)~3)].

2. 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(a)**とその装置の写真を **Fig. 1(b)**に示す．従来のせん断法では，工具を板厚方向に移動させて切断するため，切口面にはだれとかえりが発生しやすい．これに対して，本加工法では，工具を材面内方向に移動させるため，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．

2.1　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αを有し，工具幅 S_w=3.2mm，長さ S_l=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 α の異なる 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．

2.2 解析プログラムと数値解析用モデル

数値シミュレーションには，汎用非線形有限要素解析ソフトELFENを使用した．
新しいせん断法は三次元モデルを用いた．弾塑性解析を採用し，板材を弾塑性体，工具やダイスを剛性とする．本研究では陽解法を用いた．

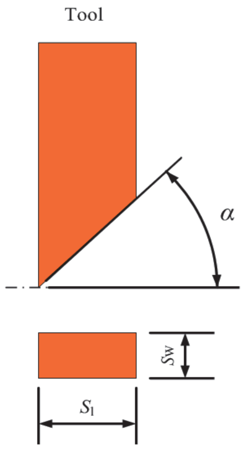


Fig.2 Dimension of tool

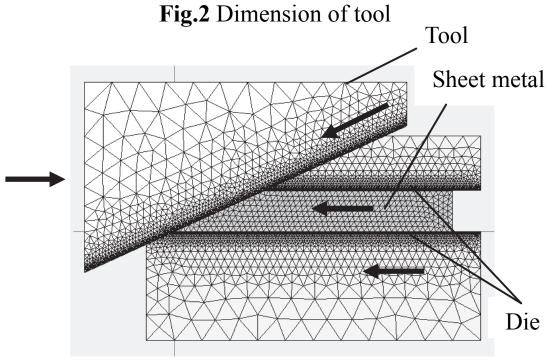
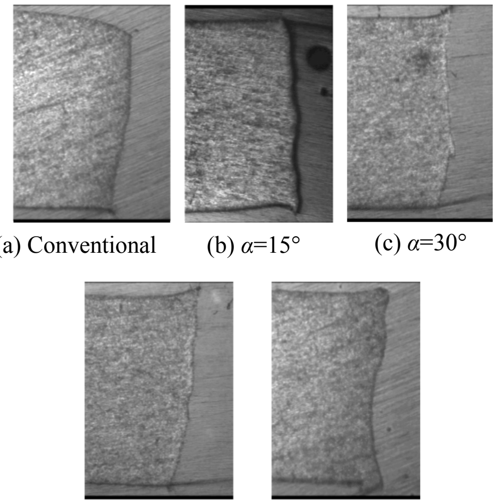


Fig.3　Model used in the FEM analysis



(a) Conventional　(b) α=15°　(c) α=30°

(d) α=40°　(e) α=50°

Fig.4　Photographs of cross section in conventional shearing and new shearing

板材は弾塑性体とし，Von Mises の降伏条件に従うものとした．引張試験用の試験片は，実験と同様に素材の圧延方向に対して垂直に採取し，JIS Z 2201 の 5 号試験片の形状に機械加工して，引張試験を行った．本加工法に用いたモデルの形状を **Fig. 3** に示す．実験においてもこのような構成になっている．板材をソリッド要素でモデル化する．工具とダイスの切刃半径を 0.01mm にした．

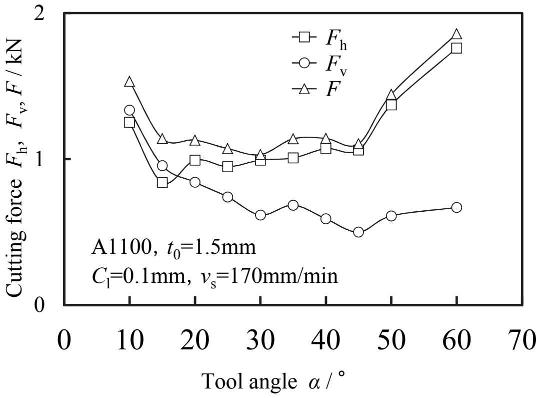


Fig.5　Effect of tool angle on cutting force

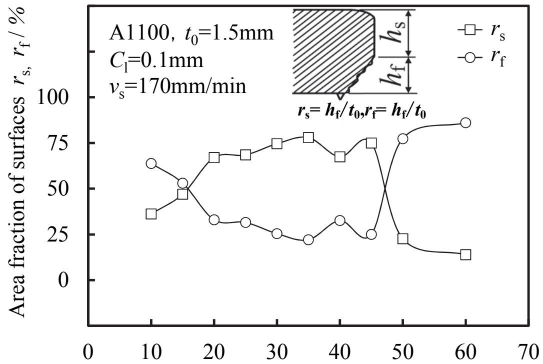


Fig.6　Effect of tool angle on area fraction of sheared and fractured surface

板材のメッシュの長さは 0.2mm にした．また，解析の精度を向上させるために，工具切刃とダイス切刃の間の材料の変形が大きいため，板材のメッシュの長さを 0.03mm に,摩擦係数 μ は 0.03 とした．

3．研究結果

本加工法と従来のせん断加工法に比べて，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，加工力は従来のシャーリングより著しく低減され，さらに **Fig.4** に示されるように高い精度の切口面が得られる．つまり，従来のせん断加工では，同図にしめされるようにだれやかえりが発生し，せん断面の割合も少ない．しかし，この実験ではクリアランス C_l が 0.2mm なので最良な断面とは言えない．後述で説明するように C_l=0mm での切口面は，ほぼせん断面のみとなった．

工具の傾斜角が加工力に与える影響を明らかにした．加工力の実験値 **Fig.5** に示す．工具傾斜角 α=15～45°に おいて，せん断力 F，水平方向加工力 F_h，水平方向加工力 F_v は小さな値を取っており，この範囲がこのせん断加工に適していると推測される．せん断加工中に工具に生じる力は，せん断力 F と摩擦力 μF である．この加工式(1)のように求められ，計算値と実験値はほぼ良く一致した．

$$F_h = F\sin\alpha + \mu F\cos\alpha$$
$$F_v = F\cos\alpha - \mu F\sin\alpha \quad (1)$$

ここで，μ は工具と被加工材間の摩擦係数である．

Fig.6 に示される様に，工具傾斜角 α=20~45°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，切口面の表面粗さも小さい．さらに，せん断面の割合 r_s が約 75%に達し，破断面の割合 r_f は，約 25%となっている．以上の結果より，本加工法における最適な工具傾斜角範囲は α=20~45°であると考えられる．なお，同図で h_s はせん断面の長さでは h_f が破断面の長さである．

Fig.7 に示される様に，工具傾斜角 α に関係なく，垂直方向加工力 Fv は，クリアランス C_l=0~0.3mm 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_l=0.1~0.3mm の範囲でほぼ一定の値となった．このことは，クリアランスはこのせん断において、せん断力のメカニニズムに影響を与えない．**Fig.8** にクリアランスに対するせん断面の写真を示す．**Fig.9** にクリアランスがせん断面の割合が与える影響を示す．両図に示すように，クリアランス C_l が極めて小さい場合，特に Fig.8 の C_l=0mm に示すように，せん断面の割合 r_s=100-40 となり，切口面はほぼ全域がせん断面となった．これは、このせん断において，材料の変形がほぼせん断変形のみで行われているからである．クリアランス C_l が増加すると，従来のせん断加工と同じ変形メカニズムとなり、破断面の割合が増加し，せん断面の割合が減少した．このことは，FEM 解析によるせん断部の変形の結果と一致した．さらに，クリアランス C_l=0~0.3mm の範囲では，切口面のかえり

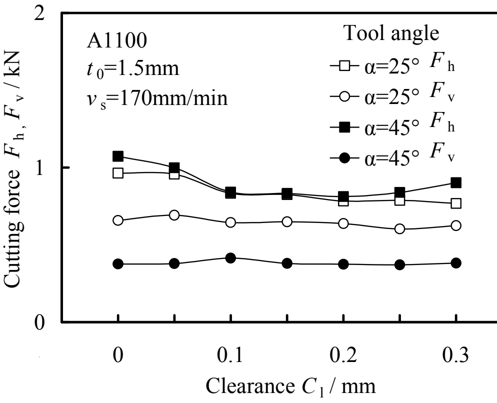
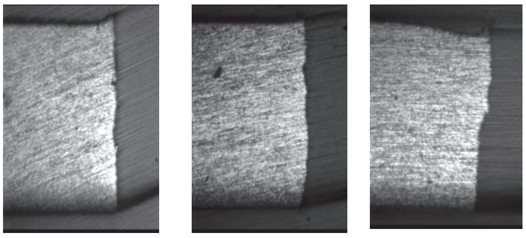


Fig.7 Effect of clearance on cutting force



C_l=0mm C_l=0.15mm C_l=0.3mm

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

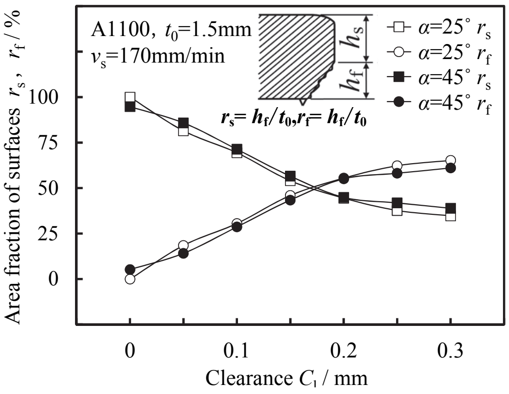


Fig.9 Effect of clearance on area fraction of sheared and fractured surfaces

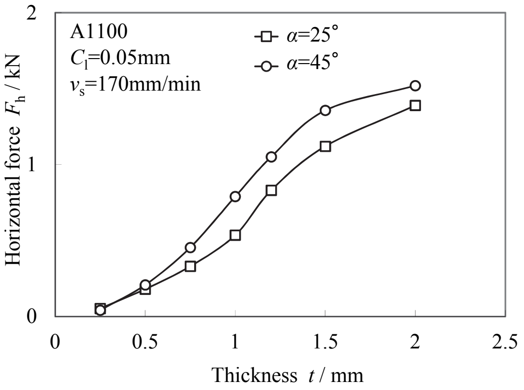


Fig.10 Effect of thickness on cutting force

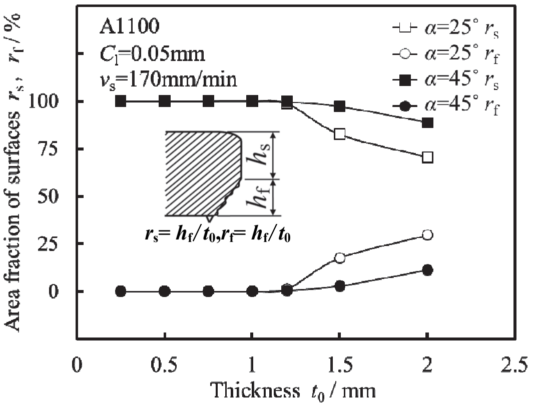


Fig.11 Effect of clearance on area fraction of sheared and fractured surfaces

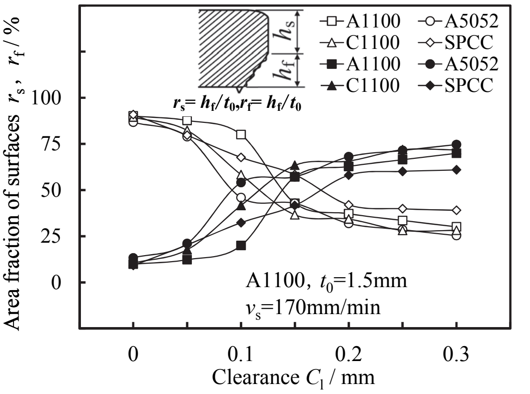


Fig.12 Effect of clearance on ratio of sheared and fractured surfaces in different strip materials (α=25°)

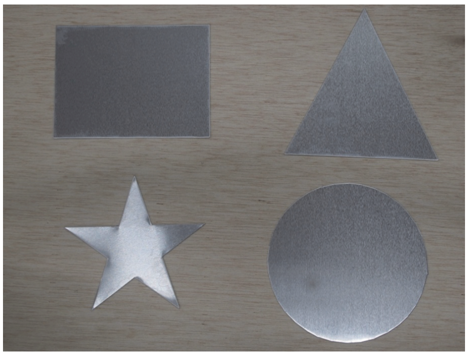


Fig.13 Photograph of products by new shearing method

高さ h_b は 0.1mm 以下であり、だれも殆ど発生しなかった．

板材の板厚や材質が加工力や切口面性状に与える影響を明らかにした．**Fig.10** に示される様に，板材の板厚と引張強さの増加にともない，せん断力 F が増加するため式(1)より明らかなように、水平方向加工力 F_h，と垂直方向加工力 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.11** に示す．工具の傾斜角 α に関係なく，板の厚さ 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）の材料をパラメータとして，破断面とせん断面の割り合いの結果を **Fig.12** に示す．同図に示されるように，クリアランス C_l が小さい加工条件で，せん断面の割合が大きく破断面が殆ど生じない, また, かえり高さが小さくだれの少ない．このせん断加工においては，材料の種類が変わっても，理想的なきれいな切口面が得られる．

4．結言

新しいせん断において最適な加工条件を解明した．また，ここでは省略するが数値解析により，加工条件が板材内部のひずみ分布に及ぼす影響を調査し，本加工法のメカニズムを明らかにした．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.13** に示す様に，長方形，三角形，円弧などの切断実験を行い，本加工は曲線や折れ線ができることを検証した．また，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．今後，このテーマに関して装置の改善及び実験を進めて，実用的な装置を開発していく予定である．

謝 辞

この研究は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記し，公益財団法人天田財団に心より感謝の意を表します．

参考文献

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