

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656100

研究課題名（和文）せん断のみによる板材の新しいせん断加工

研究課題名（英文）New Shearing by Moving Tool in In-plane Direction

研究代表者

村田 眞 (MURATA MAKOTO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：10106883

研究成果の概要（和文）：本研究は、板材の新しい切断法として、工具を板材の面内方向に移動させるせん断加工である。この加工法と、従来のシャーリングと繰返しせん断を行う加工法を比べて、切断荷重や切口面性状を考察した。実験とともに数値解析を用いて、工具切刃傾斜角、クリアランス、材料などの加工条件が切断荷重や切口面性状に及ぼす影響を検討し、最適な加工条件を定量的に示した。本加工法のメカニズムを明らかにし、実用化への可能性を検証した。

工具傾斜角を 20°～40°にし、クリアランスを 0mm にすると、良好なせん断面が得られる。板厚や板の材質が定まれば、せん断力を算出でき、この原理を用いて新たにせん断加工機を創生する時、この研究は指標となる。さらに、加工機を CNC 化することで、板材を様々な形状にせん断加工できることを示した。ゆえに、このせん断加工の実用化の可能性が明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The author proposed a new shearing method by moving tool in the in-plane direction for sheet metal compared with the conventional shearing. A series of experiments has been carried out to compare new shearing with the conventional shearing. Shearing force and shearing surface were discussed in various shearing methods. In order to investigate the mechanism of new shearing, simulations were carried out by the finite element method. The effects of tool angle, clearance, thickness of sheet, shearing force and surface have been discussed.

The new shearing was compared with conventional and repetitive vertical shearing, and shearing force and surface were examined. The highly accurate shearing surface was obtained by small shearing force on the new shearing.

When the tool angles are 20～40 degrees and the clearance is 0mm, excellent shearing surface is obtained. When the thickness and material of sheet metal are determined, shearing force is calculated. The report becomes an indicator and new shearing machine will be created with the principle. The prototype shearing machine was made on Computer Numerical Control and sheet metal shared to various shapes. Therefore new shearing machine is possible to be made by this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：塑性加工，板材，せん断，工具傾斜角，クリアランス，有限要素法

1. 研究開始当初の背景

塑性加工は、材料の塑性変形を利用して目的の形状にする方法であり、鋳造、溶接などの

他の加工法と比較し、生産性が高い、歩留まりが良い、材質の改善が可能であるなどの優れた特徴がある。さまざまな塑性技術の発展

により、従来の製品より安価に製造できるようになったため、我々の身の回りのいろいろな製品が塑性加工により製造されている。

材料の形状としては、板材、棒材、管材などがある。近年地球温暖化などの問題により、省エネルギーが課題となっている。板材、特に軽量で高強度のアルミニウム合金板が多種類開発されて、航空機、自動車、電車、電気製品などの製造に多く用いられている。

せん断加工は、塑性加工の現場で最も多く見受けられる加工法である。例えば薄鋼板の製造においては、連続鋳造スラブは切断と圧延が繰り返されてコイルとなる。さらにこの薄鋼板が自動車ボディに使われる場合、一度輪郭切断された後、絞り成形され、さらに穴あけや縁取り切断されて成形工程が終了する。このような最終的な部品の仕上がりまでには幾度となく切断が繰り返されている。これらの切断工程は、ほとんどの場合、せん断加工によって行われている。プレス機械は塑性加工機械の中では量的には最も多く用いられている加工機であるが、プレス機械の70~80%がせん断加工に用いられていると見られている。切断作業には、せん断加工のほかに、切削、研削、溶接、レーザー、放電など数多くの切断加工が存在するが、なかでもプレスによるせん断加工は最も広く用いられている。

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。精密せん断加工において、シェーピング、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。

以上のすべてのせん断加工法では、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、切口面にだれやかえりが発生しやすい欠点がある。近年、加工技術の高度化および製品の多様化に伴って、フレキシブルな切断加工技術が注目されている。しかし、工具を板材の面内方向に移動させる切断加工技術に対する研究はほとんど行われていないのが現状である。そのため、基礎的な加工特性を調べ、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の検討をする必要がある。

2. 研究の目的

従来のせん断加工は高能率であるが、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ている。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である。上下抜き法の長所はかえりが少ないが、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およ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、工具の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特徴は、全く解明されていない。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。そこで、本研究では以下のことを明らかにする。

(1)実験によって本加工法と従来のせん断加工法を比較して、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られる影響を検討し、理想的なせん断が得られる。また、最適な加工条件の範囲を明らかにする。

(3)汎用有限要素解析を行い、実験結果との比較・検討を行い、変形メカニズムを明らかにする。

(4)工業によく使われる板材アルミニウムA1100, A5052, SPCC, C1100を用いて、切断実験を行い、板材の板厚と材質の影響を検討し、産業界での実用化の可能性を考察する。

3. 研究の方法

(1) 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。従来のせん断法では、工具が板厚方向に移動して切断するため、切口面に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

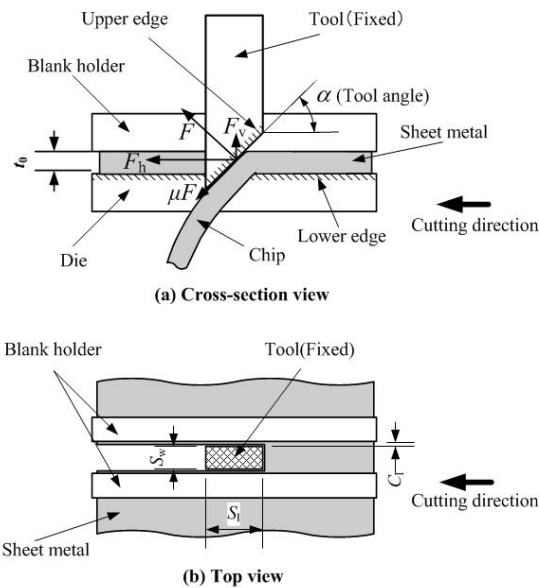


Fig. 1 Schematic illustration of new shearing

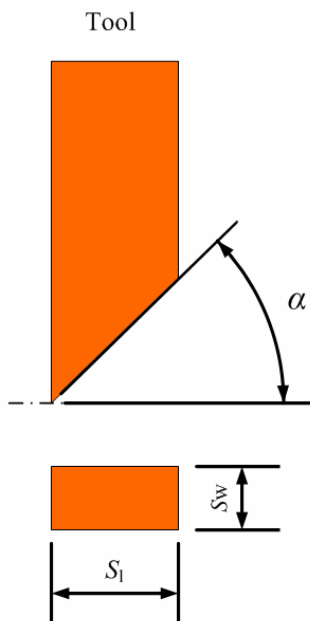


Fig. 2 Dimension of tool

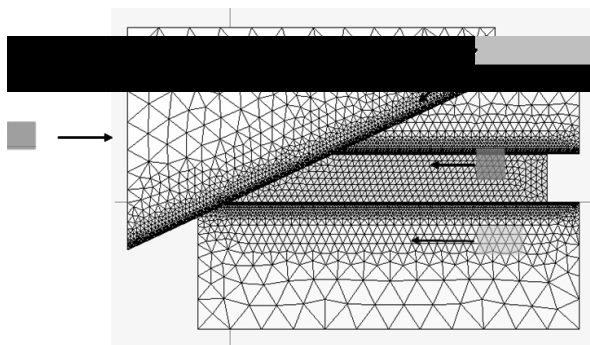


Fig. 3 Model used in the FEM analysis

定されている工具によって板材が下方に押しされ、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). 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 $S_w=3.2\text{mm}$ 、長さ $S_l=16.0\text{mm}$ と工具傾斜角 α が加工に与える影響を明らかにするため、 $\alpha=10\sim 70^\circ$ 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。

(3). 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。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。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。板材のメッシュの長さは 0.2mm にした。また、解析の精度を向上するために、工具切刃とダイス切刃の間の材料の変形が大きく、板材のメッシュの長さ 0.03mm にした。摩擦係数 μ は 0.03 とした。

4. 研究成果

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. 4 に示される様に高い精度の切口面が得られる。工具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. 5 に示されるように、工具傾斜角 $\alpha=15\sim 45^\circ$ において、せん断力 F 、水平方向加工力 F_h 、垂直方向加工力 F_v は小さな値加工力 F_h 、垂直方向加工力 F_v は小さな値を取った。Fig. 6 に示される様に、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。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では $\alpha=20\sim 45^\circ$ であると考えられる。クリアランスが加工力や切口面性状に与える影響を明らかにした。

Fig. 7 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

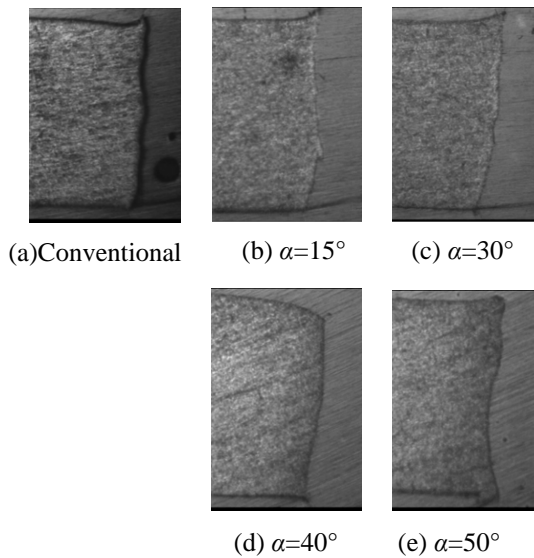


Fig. 4 Photographs of cross section in Conventional shearing and new shearing

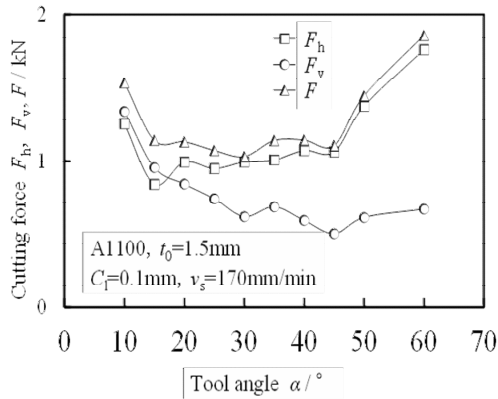


Fig. 5 Effect of tool angle on cutting force

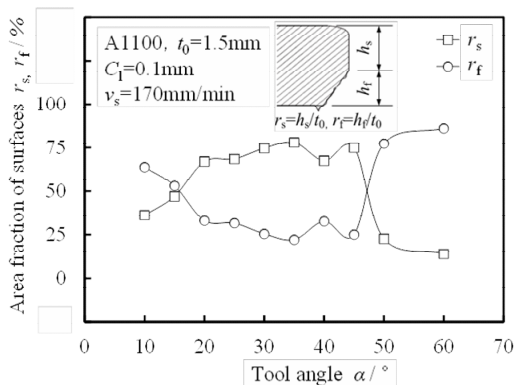


Fig. 6 Effect of tool angle on area fraction

Of sheared surface

ンス $C_1=0\sim 0.3\text{mm}$ の範囲でほぼ一定の値となった。水平方向加工力 F_h も、 $C_1=0.1\sim 0.3\text{mm}$ の範囲でほぼ一定の値となった。Fig.8 と Fig.9 に示されるように、クリアランス C_1 が極めて小さい場合、切口面はほぼ全域がせん断面となった。クリアランス C_1 が増加する

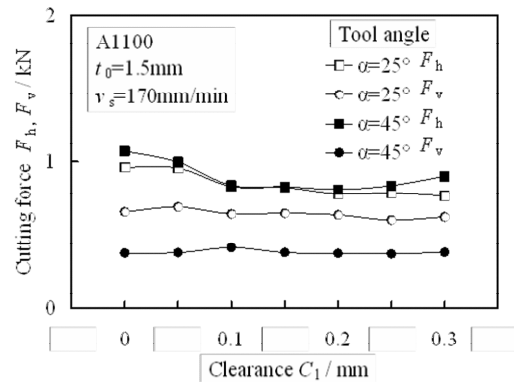


Fig. 7 Effect of clearance on cutting force

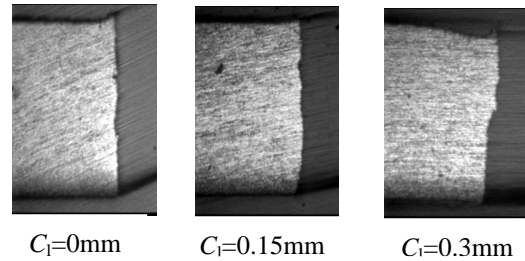


Fig. 8 Photograph of cut surfaces and cross sections ($\alpha=25^\circ$)

と、破断面が生じ、せん断面の割合が減少した。クリアランス $C_1=0\sim 0.3\text{mm}$ の範囲では、切口面のかえり高さ h_b は 0.1mm 以下であった。

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とともに、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.11 に示す。工具の傾斜角 α に関係なく、板の厚さ $t=0.25\text{mm}$ から $t=1.2\text{mm}$ 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.12 に示される様に、クリアランス C_1 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。新しいせん断において、最適な加工条件を解明した。また、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する。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 に示すように、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。

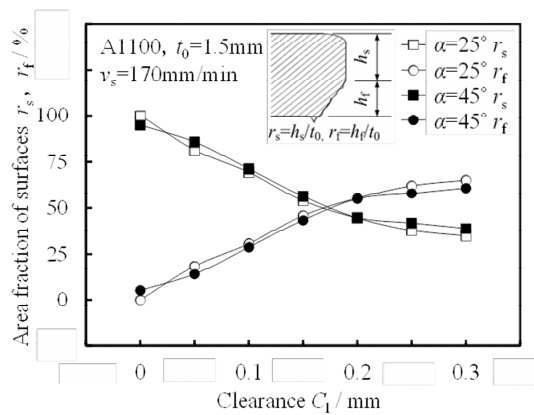


Fig. 9 Effect of clearance on area fraction of sheared and fractured surfaces

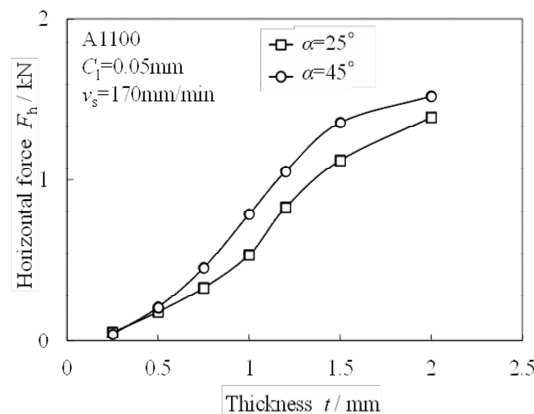


Fig. 10 Effect of thickness on cutting force

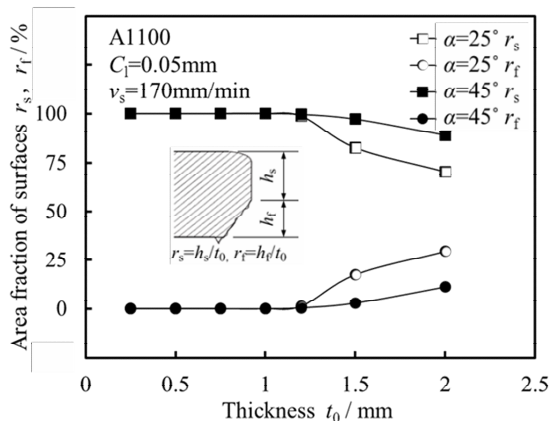


Fig. 11 Effect of clearance on area fraction of sheared and fractured surfaces

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Datao Lu, Murata Makoto, Kuboki Takashi, Effect of clearance on new shearing method with horizontal tool movement of 1100 aluminum sheet, 査読有, Int J Adv Manuf Technol, 2011.4, Vol.57, 647-653.

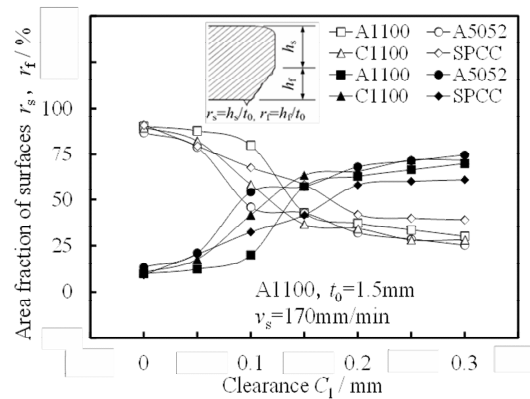


Fig. 12 Effect of clearance on ratio of sheared and fractured surfaces in different strip materials ($\alpha=25^\circ$)

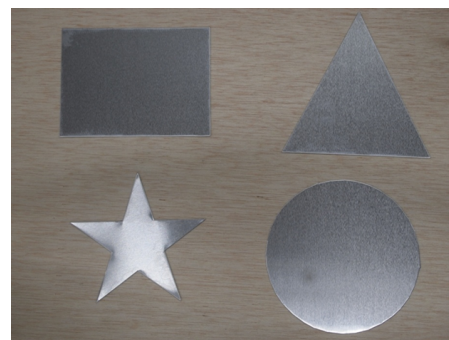


Fig. 13 Photograph of products by new shearing method

- ② 路大涛, 村田眞, 久保木孝, 金英俊(アマダ), 工具を水平方向に移動させる新しいせん断加工と従来のせん断との加工力および切口面の比較, 軽金属学会誌, 査読有, 第61巻, 第3号, 2011.3, 100-106.

〔学会発表〕(計3件)

- ① 佐藤駿, 久保木孝, せん断加工条件が複合材の切断面に及ぼす影響, 日本塑性加工学会, 第63回塑性加工連合講演会, 2012.11.4-6, 北九州国際会議場, 西日本総合展示場 AIM.
- ② 路大涛, 村田眞, 久保木孝, 金英俊((株)アマダ), 板材の新しいせん断加工における切断特性の解析および実験的検討, 日本塑性加工学会, 第62回塑性加工連合講演会, 2011.10.27-29, ホテル日航豊橋, 133-134.
- ③ 路大涛, 村田眞, 久保木孝, 金英俊((株)アマダ), 板材の新しいせん断加工における変形挙動の解析および実験的検討, 軽金属学会, 第120回春期大会講演会, 2011.5.20-5.22, 名古屋大学, 241-242.

[その他]

ホームページ等

<http://www.mt.mce.uec.ac.jp/index.html>

村田・久保木研究室

6. 研究組織

(1)研究代表者:

村田 眞(MURATA MAKOTO)

研究者番号: 10106883

電気通信大学・大学院情報理工学研究科
・教授

(2)研究分担者:

久保木 孝 (KUBOKI TAKASHI)

研究者番号: 90361823

電気通信大学・大学院情報理工学研究科
・准教授

(3)連携研究者:なし