板 材 の 斜 め せん 断 加 工* (第2報, 工具面摩擦と試料拘束条件の影響)

山 崎 進*¹, 尾 崎 龍 夫*¹

Shearing of Inclined Sheet Metals (2nd Report, Effect of Tool Surface Friction and Workpiece Constraint)

Susumu YAMASAKI and Tatsuo OZAKI

Single-side straight cutting of an aluminum sheets is performed to investigate the effect of lower tool surface friction and workpiece constraint on lateral force in shearing of inclined sheet metals, in comparison with the results of conventional shearing. Tensile lateral force decreases with a decrease in the tool surface friction, resulting in an increase of the deflection of the sheet and deteriorating the ease in cutting the material. Compressive lateral force acts throughout the process even when the cutting-off length is comparatively large in conventional shearing of the loose workpiece constraint and the low tool surface friction.

Key Words: Shearing, Plastic Forming, Press Working, Friction, Lubrication, Inclination Angle, Lateral Force, Workpiece Constraint

1. 結 言

前報⁽¹⁾では, 板面に対して斜めにせん断加工するときの加工現象を基礎的に検討するために, 直刃による片面せん断加工実験を行い, 切口面形状や面内軸力に及ぼす傾斜角, 工具クリアランス, 切断代の影響や加工中の変形状態を詳細に調べた。その結果, 斜めせん断加工では, 慣用せん断に比べて上刃のくい込みが容易となり, だれの少ない切口面が得られることが確認された。また, 傾斜角の増加につれて面内の引張軸力は大きくなり, 特に, 切断代が微小(板厚の20~30%)な範囲においても, 加工中は常に引張軸力が作用するため, 板材の逃げが防止されて切込み性が良好となることが明らかとなった。しかし, 工具面の摩擦や試料の拘束条件は工具クリアランスと同様に加工特性に大きな影響を及ぼすと報告されている⁽²⁾。

そこで本報では, せん断加工中における工具面摩擦や試料の拘束条件の影響について検討した結果を報告する。

2. 実験装置および実験条件

実験装置は既報⁽¹⁾と同様である。本実験では傾斜角(下工具面が水平面となす角度) θ は 0° (慣用), 5° , 10° , 15° , 20° の範囲で変化させた。また, 今回は図1に示すような試料ホルダ上にその一端を固定した試料台を兼ねる荷重計により, 図2に示すような加工中の板面内に作用する板面平行の力(せん断力 P_s および上工具側方力 $F_v \pm \mu_1 P_v$ の板面平行方向成分と下工具の側圧力 F_s の合力)と下工具上面の摩擦力 $\mu_3 P_L$ の合力(面内軸力 F_L)を検出する。

なお, 工具面の摩擦力は加工中せん断力の増減により変動し, 面内軸力の測定値に占める割合は条件によ

L_s : Distance between sheet holder and lower blade edge

図1 試料ホルダ

* 平成2年5月12日 第21回塑性加工春季講演会において講演, 原稿受付 平成3年1月10日。

*¹ 正員, 九州大学工学部 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)。

ってはかなり大きいものと推察される。そこで今回は下工具面に厚さ 0.05 mm のテフロンシートを貼りつけ、シート上、上工具面および下工具面の側面にマシン油を薄く塗布した加工も行った。

試料の拘束条件の影響を調べるために図 1 中の板押え位置を移動させることにより、下工具刃先から板押え先端までの距離 L_s を 70~25 mm の範囲で変化させた。また、図 3 に示すように、板押え先端と下工具刃先間の加工中における試料たわみが最大となる位置でのたわみ量を板ばねに貼付したひずみゲージにより検出し $X-Y$ プロットに記録した。工具クリアランス C は 0.03 mm~0.13 mm の範囲で行い、切断代 L_c (下工具刃先からの突出し量) は 2.0 mm~0.2 mm の範囲まで変化させた。

図 2 工具面に作用する力

供試材料は既報と同様、板厚 1.0 mm、幅 21.0 mm、長さ 120 mm の短冊状のアルミニウム板 A 1050 P-H 24 材を使用した。なお、加工速度は約 20 mm/s で行った。

3. 実験結果と考察

3.1 下工具面摩擦の影響 前報⁽¹⁾では、通常の加工条件に合せて無潤滑でせん断加工したため、工具面摩擦力の加工力の測定値に占める割合は加工条件によってはかなり大きなものと思われる。そこで、今回は主に工具クリアランス C が 0.03 mm と 0.13 mm、傾斜角 θ が 0° と 10° について下工具面をテフロン潤滑した加工実験を行い、下工具面の摩擦の影響について調べた。その加工力線図を図 4 に示す。

慣用せん断では、加工初期には上工具の押込み量に対し、下工具のくい込み量が小さいために上工具の側方力が大きく影響して圧縮側の軸力が作用し、試料は下工具刃先から遠ざかる方向へ移動する。潤滑を行っ

図 3 たわみ測定装置

図 4 加工力線図例 (工具面摩擦の影響)

て下工具上面の摩擦を小さくすると試料は一層移動しやすくなる。図5は傾斜角が 0° と 10° について、クリアランスが 0.03 mm と 0.13 mm で無潤滑と潤滑したときの加工中における試料たわみ高さの実測結果の一例を示す。この場合、クリアランスが大きいときは、下工具刃角を中心とした曲げモーメントがクリアランスの小さいときに比べて増加するためにたわみ高さは大きくなる。すなわち、下工具刃先からの逃げ量が大きくなり加工初期に試料に作用する圧縮側の軸力は、無潤滑でしかもクリアランスが小さい場合に比べて大きくなる。その後加工の進行に伴って抜きくずが下向きに曲げられて下工具側面に強く押付けられるので下工具の側圧力はしだいに大きくなる。一方、製品側は逆向きの曲げモーメントを受けて上向きに曲げられ、せん断された面は上工具側面から離れる方向に移動するので上工具側方力は減少する。このために加工後期では軸力は引張り側へと変化することになる。無潤滑の場合は、せん断力が最大荷重点を過ぎるとたわみは直線的に減少するが、せん断された面が上工具側面に

接触するまでには到らず、大きな引張力が作用する。しかし、下工具面の摩擦が小さい場合は、試料が下工具刃先の方へ移動しやすくなり、製品側のせん断された面が上工具側面に強く押付けられ、無潤滑のときに比べてたわみの減少は少ない。また、そのために上工具側方力が増加し、加工後期における引張りの面内軸力は無潤滑のときに比べて小さくなるものと思われる。

傾斜角 10° の斜めせん断においては、せん断力の板面方向成分が軸力として作用するために最大たわみ高さは慣用せん断に比べて約 $1/2$ になり、軸力は常に引張り側に作用する。潤滑した場合と無潤滑の場合の軸力の差は、慣用せん断における値とほぼ同じ傾向を示しており、斜めせん断のときも工具面の摩擦力が軸力に及ぼす影響は慣用せん断の場合とほぼ同様であると考えられる。せん断力は潤滑することにより、わずかに減少するが、特に、加工初期に試料が横方向に移動しやすくなるために刃先がくい込むまでの上工具ストロークが長くなる。

図6は工具クリアランスが 0.03 mm 、慣用せん断と傾斜角 θ が 10° の無潤滑と潤滑したときの条件について、板押え位置の変化による試料の最大たわみ高さの実測例を示す。また、図7は工具面を潤滑したときの工具クリアランス C が 0.03 mm と 0.13 mm について、傾斜角の変化による製品側試料の最大たわみ高さの測定結果を示す。たわみ高さは、加工中における試料の横方向の移動量を示す尺度と考えられる。板押え位置が下工具切刃に近くなって試料の拘束が強まるにつれてたわみ高さはほぼ直線的に減少し、工具面摩擦の影響は少なくなり、また、傾斜角や工具クリアランスの影響も少なくなる。

斜めせん断では引張軸力を受けるため、慣用せん断に比べて試料のたわみは小さくなり、傾斜角が大きいほど減少する傾向を示す。

図5 試料のたわみ高さ

図6 試料の最大たわみ高さ (板押え位置の影響)

図7 試料の最大たわみ高さ (傾斜角の影響)

3.2 板押え位置の影響 試料の拘束状態も加工特性に大きな影響を及ぼす。図8に工具クリアランス $C=0.03\text{ mm}$, 切断代 $L_c=2.0\text{ mm}$ の条件について、面内軸力に及ぼす板押え位置の影響を示す。板押え位置が下工具刃角から離れるにつれて試料がたわみやすくなるので、いずれの場合も軸力は圧縮側、引張側とも小さくなる。特に、慣用せん断で潤滑した場合には、板押え位置 $L_s \geq 60\text{ mm}$ では加工後期でも軸力は圧縮側に作用する。

加工中の試料と下工具面の接触状態を調べるために前報⁽¹⁾と同様な方法で試料下面に 0.05 mm ピッチのけがき線をダイヤモンド針でけがいた試料をせん断し

た。

図9は慣用せん断と傾斜角が 20° の斜めせん断について、各工程における製品側試料のつぶれ幅 W_L (下工具面との接触長さ) を示す。工具面を潤滑したときは、無潤滑に比べて試料がたわみやすくなるために下工具との接触長さは短くなる。また、図10は工具面を潤滑したときのせん断力最大時(上工具ストローク $S=0.3\text{ mm}$)における試料下面と下工具面との接触状態の写真例を示す。傾斜角 20° の場合、工具クリアランス $C=0.03\text{ mm}$ では約40%, $C=0.13\text{ mm}$ のときは約20%ほど慣用せん断に比べて下工具面との接触面積は小さくなり、刃先近傍の面圧が高くなっていることが

図8 面内軸力線図例 (板押え位置の影響)

図9 試料のつぶれ幅

図10 試料の接触状況

図 11 面内軸力線図例 (切断代の影響)

うかがえる。

3.3 切断代の影響 試料の拘束が弱くなったとき、工具刃先からの逃げ量は多くなるが、ここでは本実験で最も試料拘束条件が弱い $L_s=70$ mm について、工具面を無潤滑、潤滑したときの加工中の面内軸力に及ぼす切断代の影響について調べた。図 11 に工具クリアランス $C=0.03$ mm のときの慣用せん断と傾斜角 10° の斜めせん断における面内軸力線図を示す。

切断代が小さくなるにつれて加工初期に抜きくずは上工具による圧縮変形を受け、切断代 $L_c=0.2$ mm になると加工終了まで切削的な機構によりせん断される。慣用せん断では、試料の拘束が弱く、しかも潤滑を行うと上工具の逃げが生じやすく切込み性が悪くなる。そのため、だれ部に続く切口面の真直度が悪化し、せん断面域が下方まで引き伸ばされて加工終了後も抜きくずが完全に分離せず、上工具側方力の影響によって面内圧縮力は無潤滑に比べてかなり大きくなる。

傾斜角 10° の斜めせん断の場合は、切断代 $L_c=0.3$ mm までは切断代が小さくなるにつれてせん断力の板面方向成分も小さくなり、面内軸力はわずかに減少する。切断代 $L_c=0.2$ mm になるとシェービング加工になり、面内軸力は微小になるが、無潤滑のときは加工終了まで引張りの軸力が作用する。しかし、下工具面を潤滑すると製品側のせん断された面が上工具側に移動しやすくなり、上工具面に押付けられるため、上工具の側方力の影響が現われて早い時期から圧縮側の

軸力になる。しかし、傾斜角が 15° 以上になると加工初期における切込み性が向上し、せん断力の板面方向成分の影響が現われるために加工中は常に引張軸力が作用するものと推察される。

4. 結 言

板面を傾斜させた斜めせん断加工を行い、工具面の摩擦状態や試料の拘束条件を変えたときの加工特性について考察し、慣用せん断の場合と対比させながらその影響について検討した。

(1) 試料の拘束が弱く、工具面の摩擦が小さい場合、慣用せん断では製品側のたわみが大きくなり、切断代が比較的大きなときでも加工中は常に圧縮側の軸力が作用する。一方、斜めせん断では、試料の横方向の移動量は慣用せん断に比べてかなり小さくなり、逃げが少ないことが確認された。

(2) 工具面摩擦の成分が軸力に占める割合はかなり大きく、下工具面の摩擦が小さく、しかも切断代が微小になると引張軸力は減少し、加工初期に板が逃げやすく切り込み性が悪くなるが、斜めせん断では、本実験範囲においてすべて切断可能であることが確認できた。

文 献

- (1) 山崎・尾崎, 機論, 56-530, C (1990), 2779.
- (2) 近藤, 精密機械, 31-8 (1965), 693.