段ボールの切断加工工程における帯状紙粉発生挙動に及ぼす機械的要因

Mechanical factors on generation behavior of string-like paper dust
in cutting process for corrugated board

正 永澤 茂 (長岡技大) ○学 金井 慎也 (長岡技大・院) 福澤 康 (長岡技大) 猿渡 賢一 (ISOWA)

Shigeru NAGASAWA, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata

Shinya KANAI, Yasushi FUKUZAWA, ditto

Kenichi SAWATARI, ISOWA Corporation, 66 Nishiya-cho, Kasugai, Aichi

Key Words: Shearing, Asymmetric blade, Corrugated board

1. 緒言

段ボールの回転式切断加工時に生じる帯状紙粉は中芯の重折り部分を切断することで発生することが2次元解析で明らかにされている^[1]。Fig. 1 に段ボールの切断モードを示す。中芯の変形形状が M 型, W 型をとる場合は, 中芯が重折りにならないので帯状紙粉は発生しない。しかし, Z 型となった場合は, 中芯が重折りになる変形挙動となる。上下刃による押込みを更に進めると, Z 型は下段に示すように3種類の形に分類される。Z_C型のように中芯を重折り部分で切る場合, 中芯が脱落し帯状紙粉が発生する。これに対して Z_{OV} 型, Z_{DR} 型は重折り部分を切らずに済むので通常は帯状紙粉の発生はないとされている。しかしまた, 刃先の滑り, 接触抵抗などによって, 帯状紙粉が発生することもある。これに対しての上下刃の切刃先端形状を変えることにより帯状紙粉の発生が抑制されることがあると経験的に知られている。

本研究では帯状紙粉の発生を抑制する手法を開発することを目的とし, Z 型変形を抑制するための切刃先端形状の効果を調べた。

Fig. 1 Classification of deformation mode

2. 実験方法

Fig. 2(a) に本実験で使用した小型装置の概要を示す。回転式切断機における最終切断過程での切刃の回転運動を上下並進運動で模擬させた。上下非対称な鋼製切刃を (a) の A, B に取付けた。下刃に対し試験片を約 15mm 突出させ, 試験片右端をブロックで固定した。切刃はストレート形状 (上刃, 下刃), ノコ刃形状 (下刃)2 つの形状刃に R 掛け加工をした切刃 (両方下刃) を用いた。本研究は次の刃の組合せを選択して実験を行った。

①: ストレート×ストレート (上刃×下刃で表記)

②: ストレート×R ストレート

③: ノコ×R ストレート

④: R ノコ×R ストレート

ライナ坪量 210g/mm², 中芯坪量 180g/mm² の A フルート試験片を幅 80mm, 刃先方向長さ 60mm に切り出し, 試験片とした。試験は試験温度 276K, 湿度 50%RH の条件で行った。

また, 刃先位置による帯状紙粉発生挙動の相違を調べた。

Fig. 2 図(b)に切断位置の模式図を示す。試験片段頂を刃先位置になる場合を原点 $X=0$ として段ピッチ $\lambda=8.8\text{mm}$ の $X\%$ だけ右側に動かした位置を $\lambda X \times 10^{-2}\text{mm}$ で記述した。なお, 刃先位置を左側にずらした場合には, 負記号で示した。小型試験機は下刃を固定し, 上刃を切込み深さを一定で切断を行う。試験片を装着した後, $X=\pm 50\%$ 範囲で 5% 刻みで刃先位置を調節し, 送り速度 $V=0.5\text{mm/s}$ で切断完了するまで押込み, それぞれの刃先位置 X において 10 回ずつ切断を行った。装置正面から CCD カメラにより試験片断面を撮影し, 押込み過程における中芯の変形挙動を観察した。

(a) Front view of die set (b) The shape of cutting blade

Fig. 2 Schematic diagram of 2 dim shearing apparatus

3. 実験結果及び考察

前述の切断実験を行うにあたり, 予備試験として, 上刃で段頂を押し潰して切断する「山切り」による切断を行い, 刃先隙間を決定した。刃先隙間を $c=25\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$, $75\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$ における切断実験を行い, 刃先隙間別の押込み比率 d/t と切刃先端形状の関係を Fig. 3 に示す。ここで t : 試験片厚さ, d : 切刃の押込み量であり, $d/t=1.0$ で上下刃先が接触する。その結果, 刃先隙間が大きくなると, 刃先間のせん断力が小さくなり, 切断至るまでの押込み比率が高くなる。試験片は片持ち状態なので下刃を支点とし, 上刃で引裂いて破断が起きているのが観察された。また, R 掛け刃同士の切断は d/t が大きくなり, 刃先隙間を大きくすると, より顕著になった。各種の組合せにおいて, $c=25\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ では押込み比率はほとんど変わらないので, 切断実

験はこの範囲で行えば良いことが分かった．このことから今回の実験では，上下切刃の剛性や切刃同士の接触を考慮して，刃先隙間 $c=50\mu\text{m}$ で実験を行った．

Fig.3 Clearance and different combination of blade indentation

前述した試験方法で，中芯の Z 型変形での帯状紙粉発生状況を，Z 型変形全体と Z_c 型変形で調べ比較した．Fig. 4 に刃先位置による Z 型変形の発生確率の変化 $P_Z(Z_c, Z_{ov}, Z_{DR})$ を示す．Fig. 5 に Z_c 型変形の発生確率 P_{Zc} を示す．Z 型は $X=+10\% \sim +30\%$ ， $-25\% \sim -40\%$ の範囲で確認される．これに対して， Z_c 型変形になるのは正符号で $X=+10\% \sim +20\%$ と範囲は狭くなった．また，Z 型変形の発生範囲が左右非対称の結果になるのは，中芯の傾斜角度が段頂を中心に左右に約 2° 違うことが影響していると考えられる．このように Z 型変形となる確率は，切刃先端形状には依存せず，ほぼ同様な確率分布を示した．ただし，発生ピークを示す刃先位置は R 刃同士の組合せの場合には，より小さい 10% の位置に移動している．これは R 刃の先端形状の場合，最大変形が発生する位置が先端方向の内より変化するためで，段頂に近い 10% の方にずれたと考えられる．刃先位置が負の場合において，正符号と比較して Z 型の発生確率は 20~30% 下がるが，分布は -35% を中心として -45~25% の範囲でほぼ左右同様な分布を示した． Z_c 型の発生確率も Z 型の約半分であり，ストレート×R ストレートの刃先位置が若干ずれている．これは正符号の切断と同様に，下刃に R 刃を用いているためと推定している．

Fig.4 Distribution of deformation mode of Z

Fig.5 Distribution of deformation mode of Zc

検出された帯状紙粉の切刃先端形状による影響を調べるために，帯状紙粉の長さを各組合せで計測した．Fig. 6 に示すように，帯状紙粉の形状(横断面)は刃先形状より異なるが，ストレート形状のもの，ノコ形状の跡があるものの 2 つに分類できた．刃先形状の組合せによる帯状紙粉の長さの測定は採取時に破壊することがあり，誤差の大きい結果しか得られていないので，切刃の組合せによる優位性はまだ明らかではない．しかし，帯状紙粉が刃先形状に切り出されるため，切刃など切断におけるパラメータを変えることにより，帯状紙粉が破壊され，短くなる可能性があると考えられる．

Fig. 6 Typical two types of string-like paper dust

4. 結論

回転式切断機を簡易的に模擬した小型試験機により A フルートの切断実験を異なる切刃先端形状とその組合せにより試験を行った結果，以下のようなことが分かった．

- (1) 刃先隙間を小さくすると，切断に至るまでの押込み率は低くなり， $c=50\mu\text{m}$ 以下だと漸近する．
- (2) Z 型変形の発生確率は，切刃先端形状には依存せず，段ピッチにおける刃先位置より決まるが， Z_c 型の発生確率は切刃先端形状によって変化する．
- (3) 帯状紙粉の切断面は刃先形状に倣った形状になる．

参考文献

- [1] 緒方雄一ら：段板紙の段筋方向切断における中芯の変形挙動，塑性と加工，52 巻，610 号，1213 頁 ~ 1217 頁，(2011)