

薄板材料の曲線スリッティング法の開発とその応用

山口 克彦*

1. まえがき

広幅のコイル材を小幅の帯板に切断していく場合には、スリッティング加工が行われている。しかし、この方法は、板材を直線状にかつ平行にせん断していくものであり、曲線形状やテーパに沿った切断を行うことはできない。

帯板を任意の曲線形状やテーパ状の直線に沿って連続的にスリッティング加工していくことができれば、Fig.1 に示すように、ブランク取りにおける材料利用率の向上や、ロール成形との組み合わせによる特殊形状の形材・管（例えば、フランジ部に凹凸がある長尺の形材や、長手方向に沿って直径が異なるテーパ管）の成形など、付加価値の高いいろいろな利用が考えられる。

従来、薄板材料を曲線形状に沿って切断していく場合には、ロータリーシャー、ニブリングマシン、タレットパンチプレスなどによる逐次せん断や、金型によるプレスせん断加工が用いられてきた¹⁾。また、最近では、レーザ切断加工も使用されている。しかし、これらの方法は、帯板を連続的にスリッティングしていく方法としてはいずれも作業能率が低く、必ずしも満足すべきものではない。特にプレスせん断では金型作製に時間を要するため、多品種少量生産の場合にはすばやく対応できないという問題がある。また、レーザ切断では装置が高価なことに加えて、切断部に熱影響領域が残存すること、有害なガスを発生するような材料には適用できることなど改善すべき点が残されている。

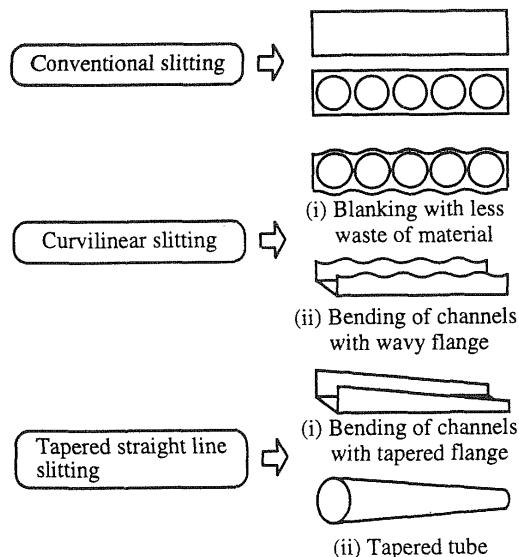


Fig.1 Use of strips slitted along various curves and tapered straight lines.

本研究では、これらの問題点を改善し、帯板の高速曲線スリッティング加工^{2)~6)}を可能にするために、新しい切断法の開発を目的にして実験的検討を行った。

曲線切断法の開発にあたっては、既存の塑性加工用設備および汎用性の大きい工具を利用することを念頭におき、圧延ロールとピアノ線を使用した。すなわち、帯板上にピアノ線を重ねて圧延ロールに通し、ロール入口でピアノ線を板幅方向に移動させることによって、所望の曲線を自己創成しながら切断を行うという、きわめて簡単でかつフレキシブルな曲線スリッティング加工法を考案した。

本切断法を実用に供していくためには、所望の曲線をいかにして創成するかが最も重要な課題である。そこで、本研究では、①ロール入口におけるピアノ線の移動をパソコンで制御した切断装置の試作を中心にし、②曲線スリッティングにおける基礎的事項および問題点の把握、③本切断法の応用などについて検討を行った。

2. 曲線スリッティングの方法および特徴

Fig.2 に、本研究で開発した曲線スリッティング法の概略を示す。この方法は、ピアノ線を圧延ロールで板圧方向に押し込むことによって板を切断しようとするものである。

帯板を曲線形状に沿って連続的にスリッティング加工していくためには、板の送りに伴って線の押し込み位置を板幅方向に変化させてやることが必要である。そこで、ロールの入口にピアノ線を板幅方向に移動させるためのガイドを取り付けた。このガイドはパソコンで制御される位置決めコントローラ（サーボモータ式リニアスケール）に取り付けられており、パソコン入力に応じて板幅方向に運動す

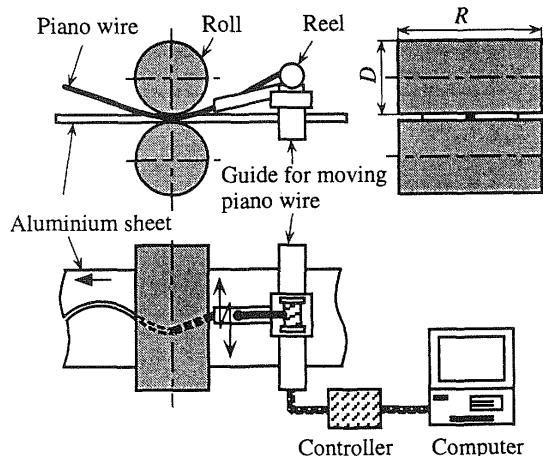


Fig.2 Schematic illustration of curvilinear slitting apparatus.

る。板の送り速度 V_s に対して線の移動速度 V_w を適当に選べば、形状が異なる種々の曲線やテープを創成することができ、この形状に沿ったスリッティング加工が可能になる。

本切断法は、プレスせん断のように 1 製品に対して 1 組の金型が必要になるといったことはなく、きわめてフレキシブルな切断法である。このため、多品種少量生産用の簡易切断法として利用価値が大きいと考えられる。また、本切断法はピアノ線を圧延ロールで板厚方向に押し込むという、いわゆる押切りタイプの切断であるため、通常のせん断で問題となる“かえり”がまったく生じない。また、回転工具による局部的な切断であるため、きわめて小さい荷重で高速の切断が可能であり、特に極薄板の切断に適した方法といえる。さらに、切断時に振動や騒音など付随的な問題もまったくないなど、多くの特徴を有している。

3. 実験装置

実験に使用した4段圧延機およびロール入口側に取付けたピアノ線移動装置の諸元を Table 1 に示す。なお、ピアノ線の直径が細い場合 ($d=0.08\sim0.15\text{mm}$) には、鋼細線をドラグ付きリールに巻き付けて使用し、切断中の張力を一定 (10N) に保持した。ピアノ線の硬さは線径によって異なるが、およそ $Hv=550\sim590$ の範囲である。

この曲線創成装置をパソコン制御するためのプログラムを作成し、テープ、正弦曲線、その他の任意形状の曲線の創成を行った。その結果、三角形や矩形波のようにシャー

Table 1 Specification of curvilinear slitting apparatus.

	Work roll	Backup roll
Four-high mill	D / mm	30
	R / mm	100
	Maximum load / kN	400
	Stroke / mm	200
Guide for moving piano wire	Maximum speed / $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	400
	Maximum accelerate / $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$	4000
	Accuracy / mm	± 0.003
	Tension / N	0~100

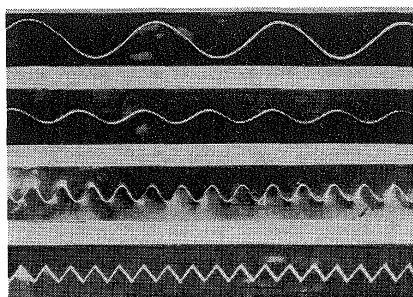


Fig.3 Examples of curvilinear slitting with a piano wire.

的なコーナーを持つ形状を除けば、入力した形状どおりの切断が可能であることがわかった (Fig.3)。

4. ロール下における板の変形状態

板面上に線を重ねてロールに送り込むと、ロール下における板の変形状態は一般に、Fig.4(a) のようになる。すなわち、線はロールによって徐々に板厚方向に押し込まれていき、ロールの出口からは溝のついた板が出てくる、溝の深さは、当然ロールの入口から出口に向うにつれて大きくなる。また、溝の両側には、線の押し込みによって生じた盛り上がりがロールによって平坦化された部分（平坦化領域）が存在する。この平坦化領域は、ロール入口から少し出口側に寄ったところから現れ始め、ロール出口に向うに従ってしだいに広がっていく。Fig.4 (b) は、ロール出口における板厚断面に注目し、板と工具（ロール、線）の接触状態および板に作用している力を模式的に示したものである。切断荷重 P は、線の押し込みに必要な力 P_1 と、盛り上がり部を圧下するために必要な力 P_2 を、全接触面積について積分したものとなる。また、図示のように線を板厚方向に押し込むと、溝底部の板には、板を左右方向に分離させようとする 2 次的な引張力 T が生じる⁷⁾。一方、板とロールの接触面および線と溝底部の間には、逆に切断をさまたげるような摩擦拘束力 F が作用している。

いま、これら引張力 T と摩擦拘束 F の差 ($T - F$) が溝底部材料の破断強度よりも大きければ、溝底部の板が破断して切断に至る。しかし、この関係が逆になると、それ以後はいかに線の押し込みを続けても破断はおこらず切断が不可能になる。すなわち、例えば線径が板厚に比べて小さすぎる場合には、線が板に押し込まれた状態で圧延されることになるため、圧下力（切断荷重）が大きくなるだけで切断には至らない。

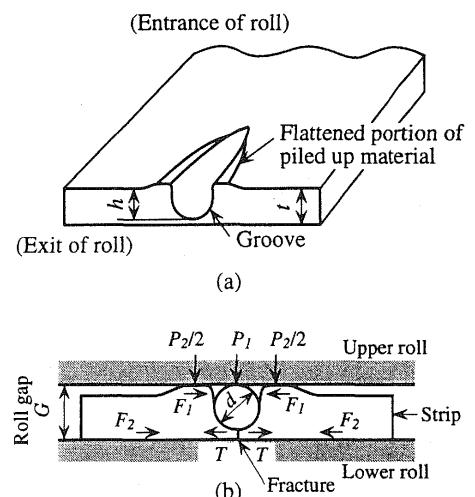


Fig.4 Schematic illustration of deformation aspect of strip (a) and forces acting on strip (b) in cutting of strip by penetration of round wire with rolls.

5. 切断加工条件の検討

本切断法では、帯板の幅 W と板厚 t 、ピアノ線の直径 d および上下ロール間の隙間 G が切断の可否や切断後の製品形状に影響を及ぼすことになる。すなわち、ロール下における板の変形状態は、これらの諸元の組合せによって Fig.5 のように大別される。

アルミニウム板 (Al-O) と軟鋼板 (SPCC) を用いて切断実験を行い、切断の可否、切断荷重、切断面の性状に対するピアノ線の寸法・形状、素板の板厚と板幅など加工条件の影響を検討した結果、次のことが明らかになった。

(1) 切断を可能にするためには、板厚と等しいかあるいは板厚よりも少し大きい直径の線を用いることが必要である。板厚に比べて線径が大きすぎる場合には、ロールによる板押え力が作用しなくなるため、切断後の板に波打ちが生じて平坦度が悪くなる。また逆に、線径が小さすぎる場合には、板面上に溝が形成されるだけで切断には至らない (Fig.6)。

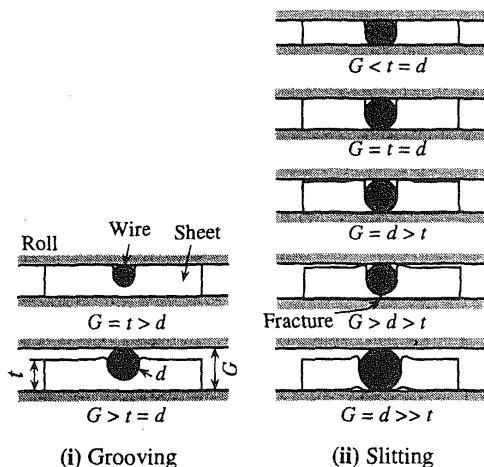


Fig.5 Deformation aspects of sheets for different combinations of roll gap G , wire diameter d and sheet thickness t .

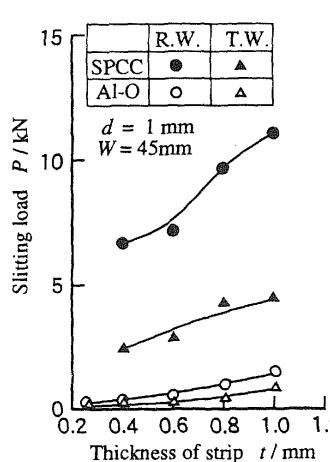


Fig.7 Effects of thickness and width of strip, shape and diameter of wire, and lubrication on slitting load.

(2) 切断荷重は、板厚が大きいほど、また板幅が大きいほど大きくなる。使用する線の直径が板厚と等しい場合には、線の押し込みに必要な力 P_1 のほかに、線の押し込みによって生じた盛り上がり部を圧下するための力 P_2 が加わるので、切断荷重が増大する。したがって、板厚よりも少し大きめの線を用いることが得策といえる。なお、三角線 (T.W.) を用いると丸線 (R.W.) の場合よりもかなり小さい荷重で切断が可能になる。また、板の両面に潤滑剤を使用すると切断荷重がさらにいくらか減少する (Fig.7)。

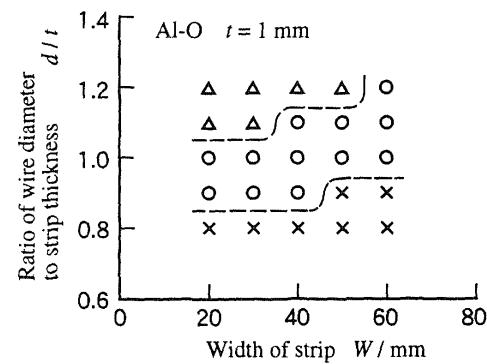


Fig.6 Effects of combinations of wire diameter, strip thickness and strip width on success or failure in slitting.
○ : successful
× : unsuccessful (grooving)
△ : flatness of strip after slitting is not good

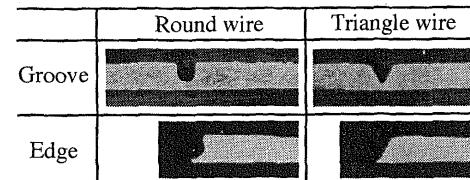
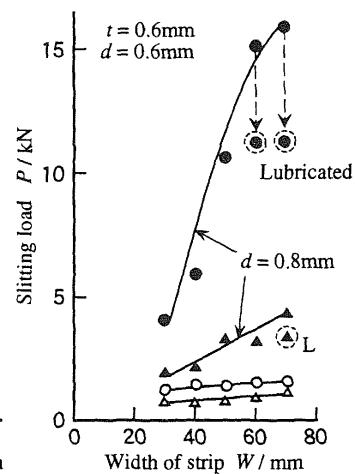


Fig.8 Cross-sections of grooves formed and edges slit by indentation of round and triangle wires.



(3) 切断面の状態は、使用する線の形状によって異なる。丸線を用いた場合には円弧形状の一部、三角線を用いた場合には板面とある角度傾いたものとなるが、通常のせん断加工で問題になる“かえり”はまったく生じない (Fig.8)。

6. 本加工法の応用例

6・1 複列（多列）切断

ロール入口に、ピアノ線移動ガイドを複数取り付けることによって、複列の切断を同時にを行うことができる。実験に使用した複列切断装置の概略を Fig.9 示す。この装置では、二つのピアノ線移動ガイドがワイヤで連結されており、

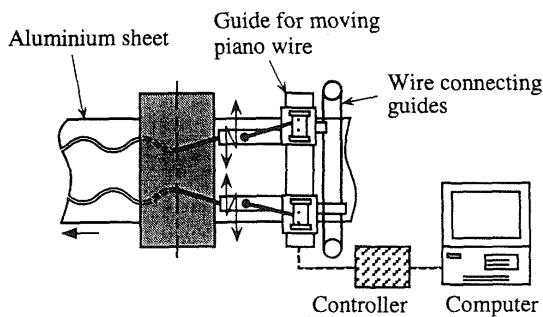


Fig.9 Schematic illustration of a guide for moving two piano wires simultaneously.

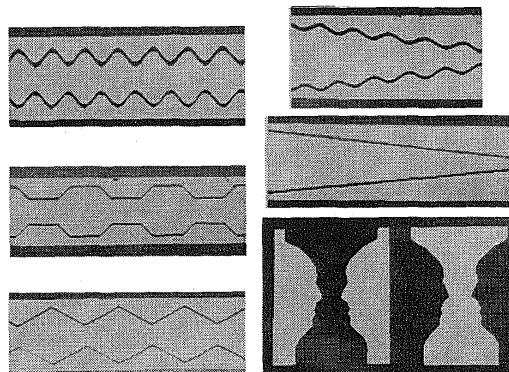


Fig.10 Typical examples of products slitted with two wires.

片方のガイドを動かすことによって両方のガイドが板幅方向に対称に移動するように工夫されている。

この装置を使用して複列切断した種々の曲線形状の例を Fig.10 に示す。図に示すように、直線切断はもちろんのこと、曲線やジグザグに沿った切断、段付きやテーパー切断、さらには人の顔のプロフィルのような複雑な形状の切断も可能である。

6・2 閉曲線の切断

線を所定の輪郭形状に成形して縫目を溶接し、これを板面上に並べて圧延ロールに通すという方法を採用すれば、Fig.11 に示すような閉曲線の切断も可能になる。板材のプレス成形では、成形後に板縁をトリミングしてしまうので切口面の良否は直接にはあまり問題にならない。このような場合には、プランク取りの方法としても利用が可能である。

6・3 溝付け加工

本切断法では、線の押込み深さを加減することによって、種々の深さの溝付け加工を行うこともできる。すなわち、板厚に比べて線の押込み深さが小さければ切断には至らず、板面上に溝が形成されることになる。Fig.12 に得られた溝形状の例を示す。切断の場合と同様に、ロールの入口で所要の曲線を創成することによって種々の形状の曲線溝を形成することができる。また、複数の線を使用すれば、多列の溝や装飾的な模様を付けることができる。

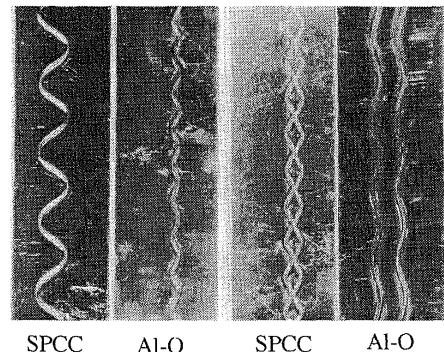
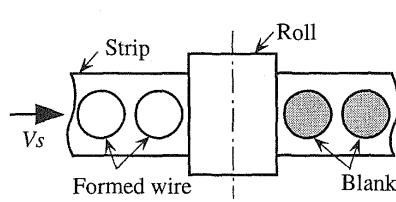
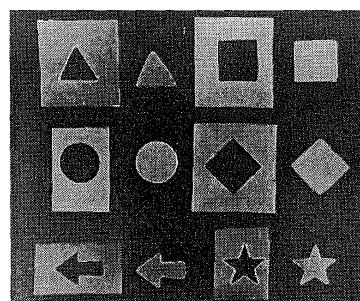


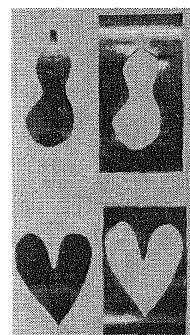
Fig.12 Examples of curvilinear grooving on strip surfaces.



(a) Contour cutting process



(b) Nylon 6 ($t = 0.3 \text{ mm}$)



(c) Soft aluminium ($t = 1 \text{ mm}$)

Fig.11 Examples of products obtained by contour cutting with wire tools.

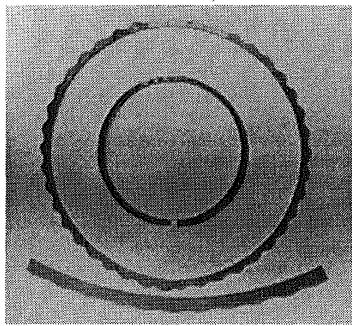


Fig.13 In-plane bending of soft aluminium strips having curvilinear edge.

6・4 曲線切断と面内曲げの同時加工

ロールの出口側に、切断後の板を左右に分離させるための治具をセットしておくと、切断された板が一定の曲げモーメントを受けながら出てくる。このため『曲線切断+面内曲げ』同時加工が可能になる。Fig.13に、このような方法で得られた製品例を示す。通常の帯板（板縁が直線形状）の場合には、圧延法による面内曲げも行われているが、板縁が曲線形状の帯板の面内曲げを簡単な方法で実現した例は見られない。

6・5 非金属薄板材料の切断加工への応用

本切断法は、アルミニウムや軟鋼板などの金属薄板のほかに、プラスチック薄板や合成皮革、布、紙などに対してうまく適用できる（Fig.14）。これら非金属薄板材料の場合には、金属材料に比べてきわめて小さい荷重で切断が可能である。

7. あとがき

本切断法では、板材の変形抵抗が工具である線に近い場合には、線の変形（上ロールに接する側が偏平化する）が問題になる。Fig.15にこのような線の変形状態と使用回数の関係を調べた例を示す。軟鋼板を切断する場合には、1回の切断によってかなり大きく扁平化し、その後も使用回数とともに徐々に変形が進んでいく。一方、アルミニウム板の場合には、同一の線を繰り返して使用しても線の変形はほとんど見られない。

このような線の変形は、切断すべき板の厚さによって異なる。板厚が薄い場合ほど切断荷重が小さくてすむので、軟鋼やステンレス板を切断する場合でも、板厚が薄ければ線の扁平化はほとんど生じない。

以上のように、板厚が薄い場合には線の変形はほとんど問題にならない。また、板厚が薄い場合には、直径が小さい線を使用することができる、切断面の形状（線の断面形状の一部）も改善される。したがって、実用的な見地からすると、本切断法は箔（板厚0.2mm以下）と呼ばれるような極薄金属板の切断、あるいは板厚が1mm程度の場合には、アルミニウムや非鉄金属材料（プラスチック薄板、

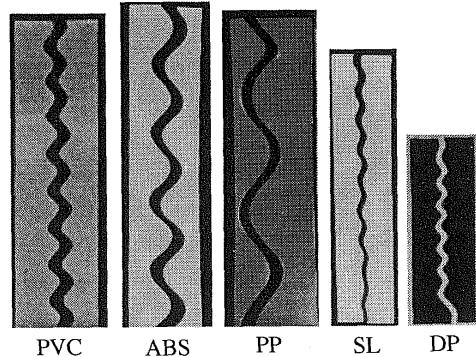


Fig.14 Typical examples of curvilinear slitting.
(plastics strips, synthetic leather and drawing paper)

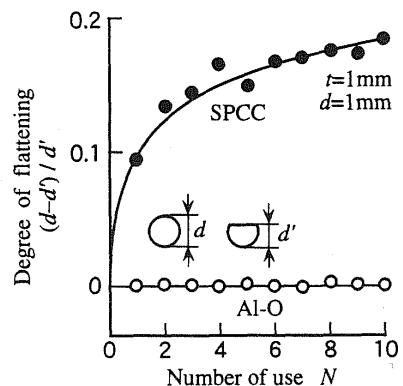


Fig.15 Relation between flattening of a wire and number of use.

合成皮革、布、紙など）など、比較的変形抵抗が小さい材料の切断に適しているといえる。

終わりに、本研究の一部は財団法人天田金属加工機械技術振興財団から研究開発助成を受けてなされたものであることを付記し、心から深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 日本塑性加工学会編：プレス加工便覧，(1975)，839，丸善。
- 山口克彦・吉川佳伸・高倉章雄・福田正成：塑性と加工，26-298(1985)，1102。
- Yamaguchi, K., Takakura, N. & Fukuda, M. : Proc. 1986 ASME Winter Annual Meeting, 20 (1986), 139.
- Yamaguchi, K., Takakura, N., Yosikawa, Y. & Fukuda, M. : Proc. Int. Conf. on Rotary Forming , (1989-10), 18.
- 高倉章雄・今谷勝次・山口克彦：44回塑加連講論，(1993)，249。
- 高倉章雄・今谷勝次・山口克彦：平7塑加春講論，(1995)，69。
- B. Ortenblad and B. Appell : Annals of the CIRP, 25-1 (1976), 159.

* 京都工芸繊維大学工芸学部 機械システム工学科 教授