

技術資料

異形断面帯鋼の開発

原 健 治* 榊 正 仁**

Development of Steel Strip with Stepped Cross Section

Kenji Hara, Masahito Sakaki

Synopsis:

A steel strip with stepped cross section was developed by applying a special rolling technology using a caliber roll designed by computer aided engineering. The developed manufacturing process of the steel strip with stepped cross section has high productivity, the wide range of product and high dimensional accuracy on the cross section. The produced steel strip has the good uniformity of properties on the cross section and it is as workable as a flat strip in such secondary operation as blanking and bending.

1. 緒 言

近年、ベアリングリテーナー、リードフレームおよび鋸刃等の加工用素材として、板幅方向で板厚が異なる断面を有する帯鋼（以下、異形断面帯鋼と称す）が用いられるようになってきた。

従来、断面が異なる部品を加工する方法としては、鋼線または棒鋼からの引き抜き加工またはプレス加工で成形された異形断面帯鋼を用いて部品加工に供する方法、また帯鋼から単品ごとに切削加工およびプレス加工で成形する方法等が行われていた。しかし、いずれの加工方法においても材料歩留が低く、加工速度が遅いため生産性が低く、製造コストが高いという問題があった。またプレス加工と切削加工の連続化という技術的な課題があった。

部品加工メーカーでは、加工工程の省略および生産性の向上を目的に、異形断面帯鋼を素材とした加工の検討が進められており、異形断面帯鋼の需要が増加している。

そこで当社は、市場ニーズに対応するため長年にわたって蓄積した圧延技術とCAE (Computer Aided Engineering) による異形断面圧延加工における孔型ロールのプロフィール設計技術により、生産性の高い高精度な異形断面帯鋼¹⁾を開発したので紹介する。

2. 開発思想および特徴

従来、異形断面材はパワートランジスター用リードフレームや電子機器用のコネクタ端子などの用途に需要が多いことから、異形断面加工技術は銅および銅合金を対象に開発が各社で活発に行われた^{2)~5)}。その代表的な異形断面加工方法としては、異形断面成形用ダイスに往復運動するロールで連続的に平条の素材を供給して異形断面に成形する方法がある⁵⁾。また、最近では鉄系の異形断面帯鋼の需要増加に伴い、圧延加工をベースにした四方向ブロックミルでの連続成形方法が開発された⁶⁾。

当社では、異形断面帯鋼の生産性向上と製造範囲の拡大を目的として、生産性の高い既存の薄板圧延設備を有効活用し、長年にわたって蓄積したみがき帯鋼およびみがき特殊帯鋼の圧延技術とCAEによる孔型ロール設計技術により、高精度な断面形状を有する異形断面帯鋼を開発した。

以下に、本製造方法による異形断面帯鋼の主な特徴をまとめると次のとおりである。

- 1) 他の方法で製造された異形断面帯鋼に比較して製造範囲が広く、生産性が高いためコスト面で優位である。
- 2) 普通鋼などの加工性の良い金属のみならず、特殊鋼

*技術研究所 加工技術研究部加工第二研究チーム チームリーダー **技術研究所 加工技術研究部加工第二研究チーム

のような難加工材の製造も可能である。

- 3) 板厚および板幅等の異形断面寸法精度に優れている。
- 4) C A Eを活用した異形断面帯鋼の設計システムにより、要求断面形状の製造可否を予測し、試作要求に迅速に対応することが可能である。

3. 製造工程及び設計システム

3.1 製造工程

異形断面帯鋼の製造は、品質や寸法精度の厳しい精密電子部品を中心に多くの分野で使用されている加工性に優れたみがき帯鋼およびみがき特殊帯鋼の製品を主に製造している大阪製造所・神崎工場で行っている。

図1に、異形断面帯鋼の製造工程の概略を示す。

各工程の目的と方法はつぎのとおりである。

3.1.1 異形断面圧延工程

広幅の材料から適正な板幅に裁断した素材を用い、圧延機で異形断面加工を行う工程である。

異形断面帯鋼の断面寸法精度は、圧延工程でほぼ決定されるため圧延工程での適正な加工条件の抽出が重要となる。当社では、異形断面加工に供する孔型ロールのプロフィールおよび加工素材寸法の最適化をC A Eで解析し、特殊な精密圧延技術と板厚制御により高精度な異形断面加工を行っている。

3.1.2 熱処理工程

材質として軟質材が必要な場合には、異形断面加工時の加工硬化を除き、均一な材質を維持するために焼なましを行なう。異形断面加工後の厚板部と薄板部では、塑性変形量に差があるため、焼なまし開始温度に差が生じる。したがって、断面内で均一な材質を維持するために最適な焼なまし条件を選択している。

3.1.3 スキンパス工程

孔型ロールで圧延し、板厚や材質および表面肌等の製品としての品質調整を行う工程である。

3.1.4 スリット工程

板端不良部の裁断および多条への裁断を連続的に行う工程である。通常の鋼帯から製品幅への裁断は特に大きな技術的な問題はないが、異形断面帯鋼の場合には所定の断面形状に裁断することが必要になるため裁断位置が特定される。そのため裁断位置の制御が断面寸法精度に大きく影響する。

当社では、裁断位置を特定する制御方法として、材料のガイドリング方法と裁断時の位置を固定する特殊な連続裁断技術⁷⁾を併用することにより、板幅および寸法精度に優れた異形断面帯鋼の製造を可能にした。

3.1.5 端面加工

板端面の形状が要求される場合には、特殊ラウンド加工により端面仕上を行う工程である。

以上が経済性を考慮した異形断面帯鋼の代表的な工程

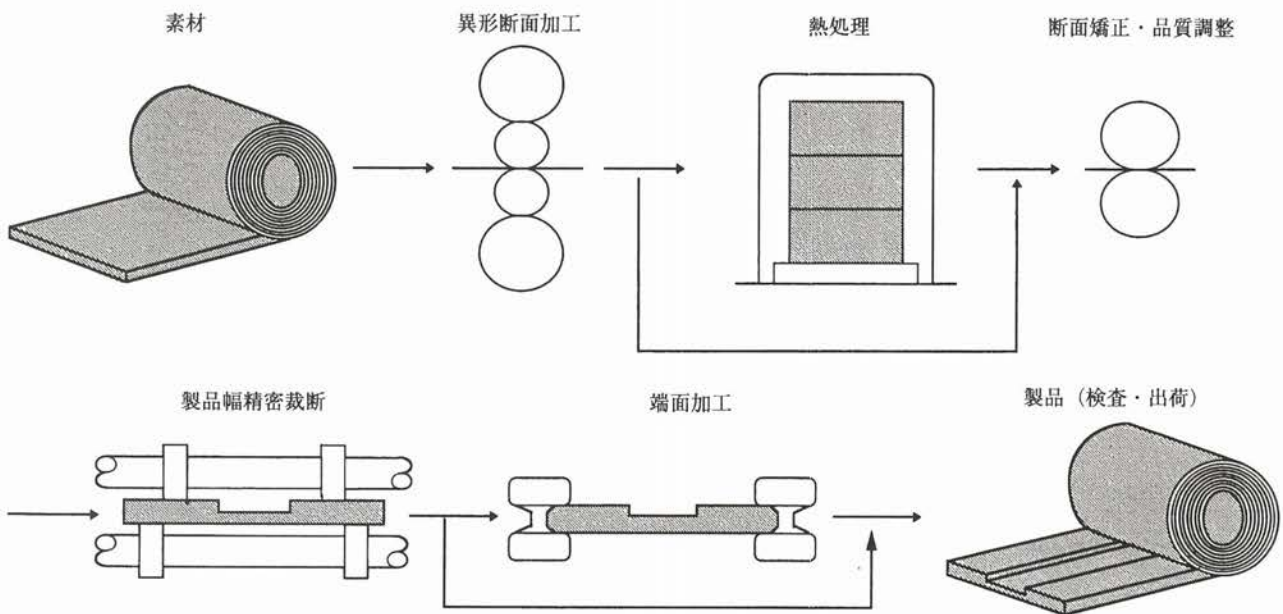


図1 製造工程

Fig.1 Process of producing steel strip with stepped cross section.

であるが、異形断面加工の特質上、厚板部と薄板部では加工に履歴差が生じることは避けられないため、材質上の観点から、さらに圧延と焼なましを繰り返す場合がある。また、薄板の異形断面帯鋼の製造でも圧延と焼なまし工程を繰り返し行う場合がある。

3.2 設計システム

ユーザーの異形断面帯鋼に対する要求形状は多種多様であるため、その都度試作を繰り返しながら要求断面形状の製造可否の判断を行ってきた。しかし、試作から製品化までには相当の時間を必要とすることから、ユーザーの開発スピードに対応できない面があった。

そこで当社では、ユーザー要求に迅速に対応するために、CAEを利用した異形断面圧延加工のシミュレーション技術による異形断面帯鋼の設計システムを構築した。

図2に、CAEを活用した異形断面帯鋼の設計システムの概略を示す。ユーザーの要求断面形状に対して、当社の異形断面加工の製造限界基準から製造可否を判断し、製造可能であればCAEにより圧延加工のシミュレーションを行い、要求断面形状の加工可否を判断する。

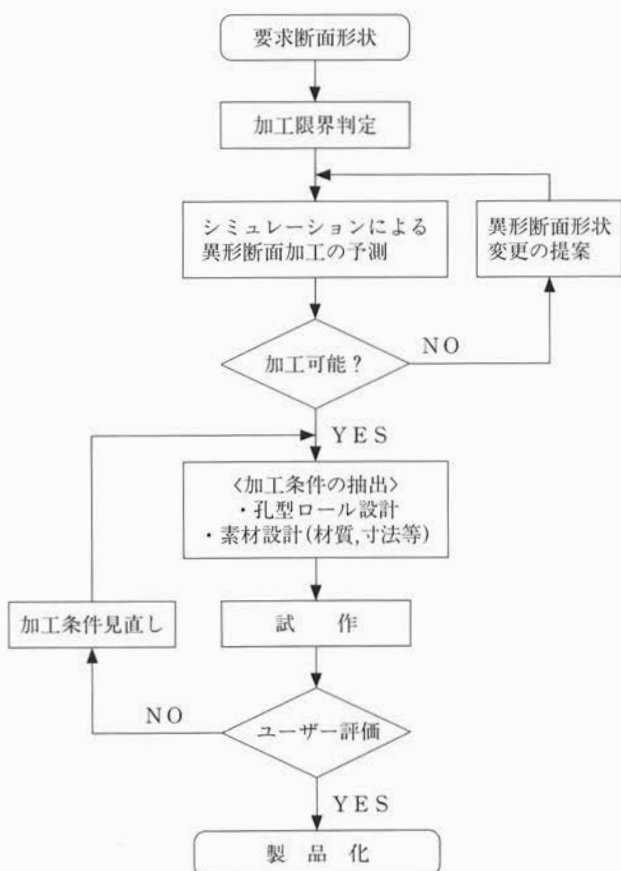


図2 設計システム
Fig.2 System for developing steel strip with demanded cross section.

図3に、CAEによる異形断面加工における変形状態の解析例を示す。CAEによる解析方法は、圧延加工における上下ワークロールの扁平変形を3次元弾性有限要素法で、撓み変形を分割モデル⁸⁾で解析するとともに、材料は加工硬化則を考慮した3次元剛塑性有限要素法で解析し、それぞれの解を連成させて加工中の材料の変形状態および圧延中のロールバイト内の応力および歪み分布を求める方法である。

図3の解析例で示すように、本解析は圧延機のワーク

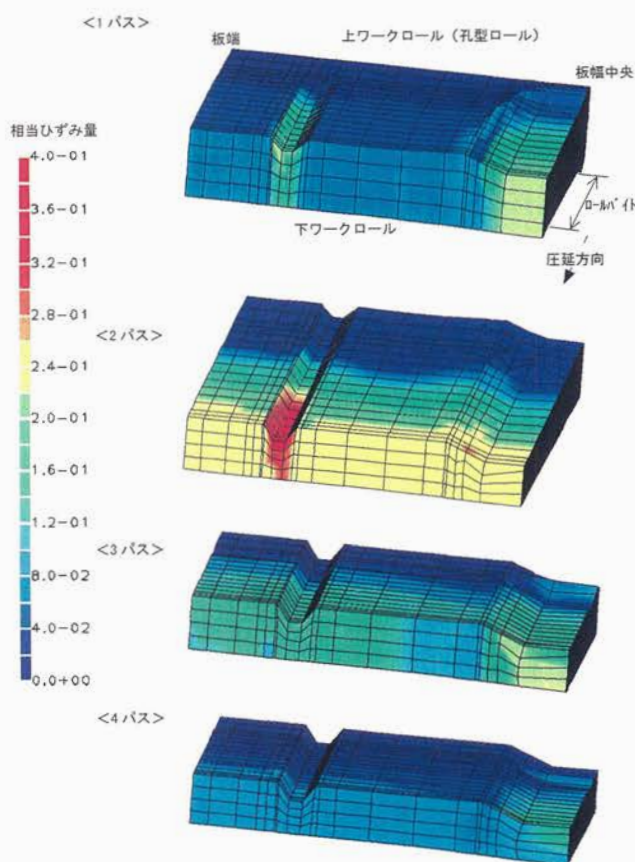


図3 異形断面加工の解析例
Fig.3 Example of calculation for rolling of strip with stepped cross section.

ロールのロールバイト入側から出側にかけて徐々に溝が形成され、ロールバイト出口では異形断面形状に変形する過程を良く表わしている。このように加工中の変形状態を予測して、孔型ロールのプロフィール設計および素材寸法条件を決定することが高精度な異形断面加工には重要である。

本解析例のように、1パスのみの圧延加工で目標の異形断面形状が得られない場合には、複数パスの圧延加工を想定したシミュレーションを行うことにより、最適な圧延条件の予測が可能である。

このように異形断面加工のシミュレーションを行い、

ユーザー要求の異形断面形状の加工が不可であれば、ユーザーでの加工および製品機能上に問題ない範囲で加工可能な異形断面形状をユーザーと協議しながら検討し、異形断面形状の変更案を提案する。成形可能であれば、再度異形断面加工のシミュレーションにより異形断面精度を確保するために必要な最適孔型ロールのプロフィールおよび素材寸法の設計を行う。その後、試作加工を行ってユーザー評価を受け、製品化を行うシステムである。

従来は、異形断面加工条件を試作実験の繰り返しによる思考錯誤で探索する必要があり、試作検討からユーザー評価まで長時間を要していたが、本設計システムによりユーザーの試作要請に迅速に対応することが可能となった。

4. 製品特性

4.1 製造可能範囲および寸法許容差

4.1.1 製造可能範囲

表1に、板幅中央に薄板部を有する代表的な普通鋼のシングル凹型およびダブル凹型異形断面形状の製造可能範囲を示す。板厚は0.5～3mm、板幅20～300mmまでの広い範囲の異形断面帯鋼の製造が可能である。異形断面加工の難易度は、板幅および板厚のみならず、厚板部と薄板部の板厚比 (T/t) (以下、段差比と称す) および溝角度 (θ) で表わすことができる。

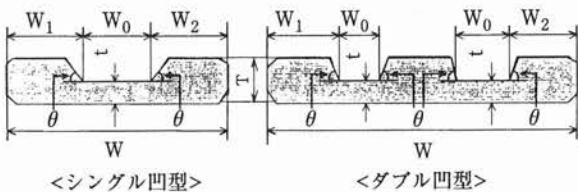
当社の普通鋼の異形断面帯鋼の場合、板厚2～3mmの範囲内であれば、段差比 (T/t) が最大2.5の異形

表1 代表的な製造可能範囲

Table 1 Standard for critical size of steel strip with typical stepped cross section.

項目	板厚範囲(mm)		
	0.5 < T ≤ 1	1 < T ≤ 2	2 < T ≤ 3
板幅 (mm)	20～150	20～300	
段差比 (T/t)	T/t ≤ 1.5	T/t ≤ 2	T/t ≤ 2.5
溝角度 (θ)	$\theta \leq 45^\circ$	$\theta \leq 60^\circ$	$\theta \leq 60^\circ$

・普通鋼を対象とする。



断面帯鋼の製造が可能である。また溝角度は、板厚が厚くなるほど鋭角的な製品断面を得ることができる。例えば、板厚2～3mmの範囲であれば最大60°のシャープな溝形状の成形が可能である。

なお、表1に記載した板厚範囲外でも断面形状によ

ては製造可能である。また、製造可能範囲は普通鋼を対象としており、特殊鋼の場合には製造範囲は狭くなる。

4.1.2 寸法許容差

表2に、普通鋼の異形断面帯鋼の寸法許容差の一例を示す。

異形断面帯鋼の寸法および形状の許容差は、一般的な帯鋼とほぼ同等である。

凹型の異形断面帯鋼の断面寸法における左右対称性の指標の一つである両端厚板部の幅の差 ($W_1 - W_2$) の許

表2 代表的な寸法許容差

Table 2 Tolerance of dimension for steel strip with typical stepped cross section.

項目	板厚・板幅範囲(mm)	寸法許容差(mm)
板厚 (T)	0.5 < T ≤ 1	±0.02
	1 < T ≤ 2	±0.03
	2 < T ≤ 3	±0.035
板幅 (W)	20 < W ≤ 150	±0.20
	150 < W ≤ 300	±0.25
薄板部幅許容差 (W_0)		±0.1
両端厚板部幅許容差 ($W_1 - W_2$)		≤ 0.3
幅反り (mm) * 1		≤ 1.5
横曲がり (mm) * 2		≤ 8.0

・普通鋼を対象とする。

* 1 幅反り (トラフ) とは、幅方向の水平面に対するわん曲の最大値

* 2 横曲がり (キャンバー) とは、長さ方向に対する左右のわん曲をいい、長さ2mに対する最大値

容値は、当社独自の裁断技術により0.3mm以内に押さえることができる。

シングルおよびダブル凹型異形断面帯鋼の製品断面写真の一例を図4に示す。シングルおよびダブル凹型のいずれにおいても溝形状はシャープで、左右対称性に優れていることが分かる。



図4 異形断面形状の代表例

Fig. 4 Example of stepped cross section.

図5に、ダブル凹型異形断面帯鋼の板幅方向の板厚分布を測定した一例を示す。

厚板部および薄板部の板幅方向の板厚偏差は小さく、高精度な加工品への対応が期待できる。

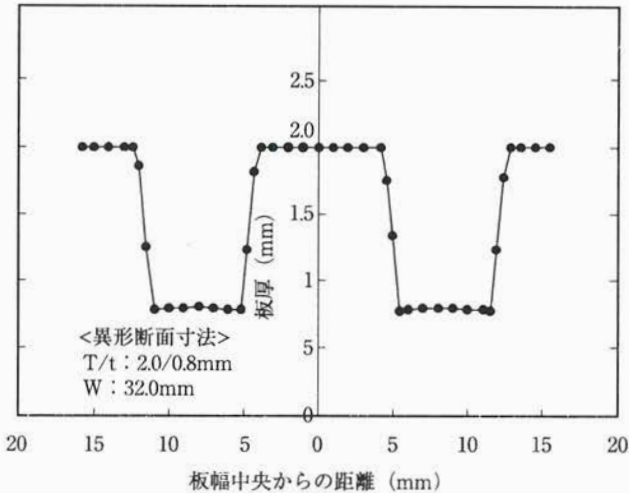


図5 板幅方向の板厚分布
Fig. 5 Thickness profile in the transverse direction.

4.2 断面内硬度分布

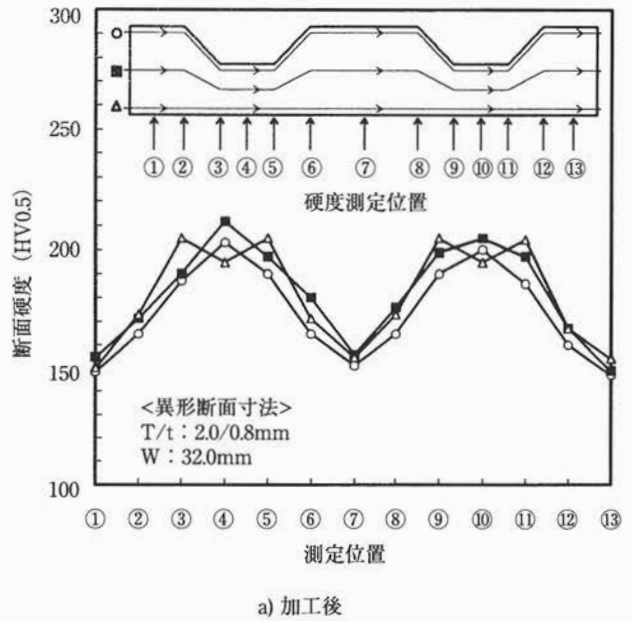
図6に、異形断面帯鋼の断面内硬度分布の一例を示す。硬引き材は、圧延加工において厚板部と薄板部の加工硬化の差により薄板部の硬度が高くなる分布になる。板厚方向の硬度差は、圧延加工における板厚方向の材料の塑性流動の差で硬度差が生じるが、その硬度差は小さく、ほぼ均一な硬度分布と言える。

異形断面加工後の硬度分布は、前述のCAEにおける圧延加工のシミュレーションで求められる相当ひずみ分布から予測することが可能であり、硬引き材の異形断面帯鋼を素材にする場合には、部品加工に適した異形断面内の硬度分布の設計ができる。

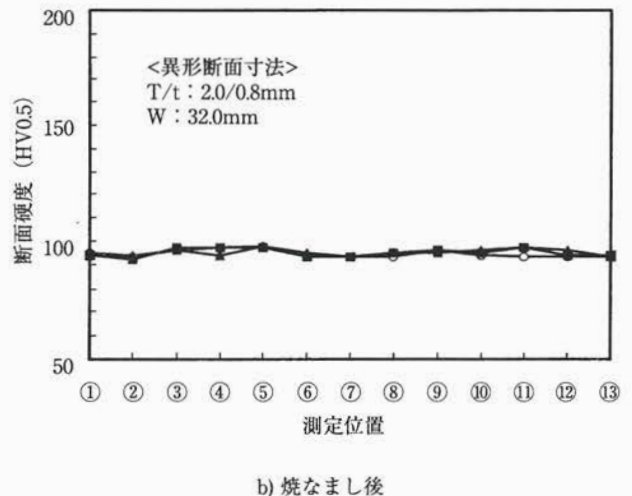
焼なまし材の断面硬度は、厚板部と薄板部の硬度差は小さく、全体としてはほぼ均一な硬度分布であることが分かる。このことは、プレス工程での打ち抜きやコイニング時の材料変形を一樣とし、一般的な帯鋼とほぼ同等の加工性が得られることを示している。

5. 各種断面の加工例と用途例

図7に、普通鋼および特殊鋼の異形断面帯鋼の加工例を示す。また、図8には代表的な異形断面帯鋼の外観写真を示す。(a)および(b)は、シングルおよびダブル凹型の異形断面形状の加工例を示す。(c)および(d)は、板幅方向に連続的に薄板部と厚板部が多数構成された比較的板幅の広い異形断面帯鋼の加工例である。



a) 加工後



b) 焼なまし後

図6 断面内硬度分布
Fig. 6 Hardness distribution on the cross section.

このように広い板幅でも高い段差とシャープな溝形状の異形断面帯鋼の成形が可能である。(e)および(f)のように、板厚1.0mm以下の薄板で特殊な断面形状の加工も可能である。

薄板の異形断面帯鋼は、製品寸法および断面形状によっては前述の圧延加工と焼なまし工程を繰り返して成形することになる。

以上のように、製造範囲が広く、各種の異形断面帯鋼の製造が可能である。このような異形断面帯鋼は、部品加工の途中工程で切削、冷鍛等の加工が行われる製品への適用が期待できる。

異形断面帯鋼の特徴を活かした適用例として、ベアリングリテーナーがある。従来、ラジアルローラーベアリングは、鉄のシームレスパイプから所定の幅に切り出し、

単品ごとに切削による溝加工とプレス加工により製造が行われていたが、異形断面帯鋼を素材とすることにより、従来の切削工程を省略し、プレス工程のみによるベアリングリテーナーの連続加工方法が可能になり、大幅な加工コスト低減になっている。今後は、新たな機能性を付加する用途への異形断面帯鋼の適用も検討中である。

		寸法(mm) T/t×W	断面形状
a	普通鋼	T	1.7~2.5
		t	0.8~1.0
		w	20~30
	特殊鋼	1.6/1.3×50	
b	普通鋼	T	2.0~3.0
		t	0.8~2.0
		w	30~70
	特殊鋼	1.5/0.8×70	
c		2.5/1.0×90	
d	普通鋼	2.0/0.8×180	
e		0.9/0.7×80	
f		0.5/0.35×50	

図7 加工例

Fig. 7 Examples of product with stepped cross section.

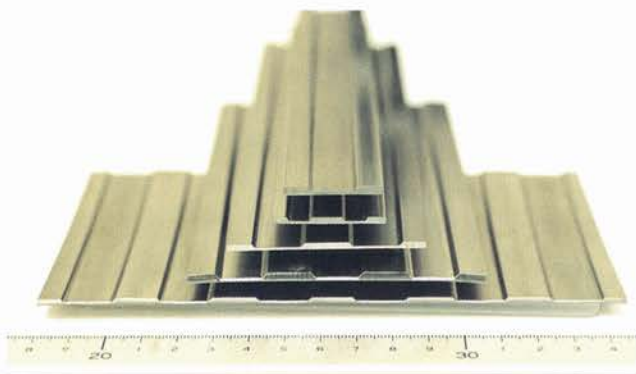


図8 異形断面帯鋼の外観

Fig. 8 Appearance of steel strip with stepped cross section.

6. 結 言

当社で開発した異形断面帯鋼の製品特性について述べた。異形断面帯鋼は、まだ用途開発途上の製品であるが、ユーザーでの加工における省工程、加工部品の軽量化および機能性の付与等を目的としたニーズはますます増加するものと考えられ、幅広い分野において異形断面帯鋼の需要の拡大が期待される。今後、より複雑な異形断面形状で精度の厳しい製品に対応できる異形断面加工技術を確認し、さらに用途拡大を図りたい。

参考文献

- 1) 公開特許公報：特開平 8-155576
- 2) 斎藤好弘, 渡辺俊成, 宇都宮 裕：塑性加工春季講演会論文集, **33-376** (1992), 567
- 3) 本村 貢, 堀端真彦：塑性加工春季講演会論文集, (1989), 631
- 4) 大場 誠, 阿部 元, 石田和男：伸銅技術研究会誌, **29** (1990), 95
- 5) 福田 弘：塑性と加工, **32-363** (1991), 452
- 6) 遠山 勝：特殊鋼, **48** (1994), 13
- 7) 公開特許公報：特開平 7-266123
- 8) K. N. Shohet and N. A. Townsend : J. Iron Steel Inst, **206** (1968), 1088