

技術トピックス

UDC 621.771.24

圧延異形断面板の製造法の開発*

福 田 弘**

New Method for Cold-rolling the Step-sectioned Strip

Hiroshi FUKUDA

1. ま え が き

近年、電子機器用材料として、銅及び銅合金異形板を中心に異形板の需要が著しく増大しつつある。更に、現在の需要の中心であるパワートランジスタなどの半導体関係及びリレー、コネクタなどの電子機構部品への応用にとどまらず、その応用分野を拡大し需要の増加が期待されている新しい材料である。

現在、国内ではこの異形板は種々の方法で製造されているが、ここでは、最も成形能力に秀で、前述の需要に対応し得る唯一の新技術である“異形板圧延方式”について述べるものであるが、本文の理解の一助として、従来の製造方法及び開発の経路などについても簡単に紹介する。なお、異形板については国内、国外とも統一された規格、規定は無く、その呼称もメーカーにより異なっているが、国内では、その呼称はほぼ異形板又は異形条に統一されつつある。参考までに異形板に対する別称として、(1)異形(型)断面板又は条、(2)段付き板又は条、(3)異形圧延帯板、(4)溝付き帯板、(5) profiled metal strips、(6) Contour strips (7)二段ゲージ帯板、などがある。

2. 異形板とその主な製造法

圧延異形板あるいは単に異形板という用語は伸銅業界及びそのユーザーにおいてはかなり一般化している呼称であるが、他の業界の方々にはなじみの薄いものと思われるので、異形板とはどのようなものであるか、簡単に紹介する。

一般に板又は条において板幅方向に板厚の段差を有するものを異形板あるいは異形条と呼んでいる。そして、異形板の板厚は 0.05~3.00 mm、板幅は 10~100 mm 程度で、現在その大半は長尺帯板として加工、供給されている。

図 1 に異形板の代表的形状とその名称を示す。実際に使用されている形状はこれらを基本としたものが多く、

一部に両面異形、三段以上の板厚を含むものなどがある。

このような異形板の製造方式としては切削方式と圧延方式の二方式に大別することができる。これらのいずれの方式も素材としては薄板の平条を用い、これを切削あるいは圧延などにより異形断面板に成形加工する。

このようにして加工された異形板は、それぞれの加工法により区別して圧延異形板及び切削異形板と呼ぶことがある。

3. 開発の背景と経過

異形板の塑性加工による製造を最初に試み、ある程度の成果が得られたのは、昭和 35 年に出願された特許、昭37-667「楽器用高力弁の製作法」¹⁾に示されている溝ロールによる引抜きと圧延の組み合わせによる成形方法と思われる。当時はまだ異形板の需要は楽器の振動弁など極く特殊のものに限られており、しかもその加工法は直径 600 mm 程度の鋳鉄製ドラムに短冊状の板を巻付け、これを総型バイトで切削成形するものであつた。これに対し発明者らは将来異形板の応用は楽器のみにとどまらず、特許公報にも記述されているごとく電子機器などにも応用されるであろうことを予見し、多量生産方式とも考えられる圧延方式によりその製造を試みたものと考えられる。

一方、電子技術業界における半導体技術の発展は電子機器の小形化、高密度化を促し、そこに使用される機構

呼称	断面形状
凸形異形条 (T形)	
凹形異形条 (U形)	
シボ異形条 (S形)	

図 1 代表的異形板の形状と名称

* 昭和 54 年 7 月 30 日受付 (Received July 30, 1979) (依頼技術トピックス)

** (株)河合楽器製作所 (Kawai Musical Inst. Mfg. Co., Ltd., 200 Terajima-cho Hamamatsu 430)

部品としてのリレー、コネクターなどあらゆる部品も小形化、高信頼性が要求されるようになった。そしてこれらの要求は金属部品に対しても例外ではなく、これを満たすためには従来の平板からの単なるプレス打ち抜き、あるいはこれのつぶし加工では対応し得ないものとなり高品質異形条の要求が生じた²⁾。この時期は昭和 40 年代初頭であり、この要求に対応して伸銅業界や精密プレス加工業界の一部に異形板の製造を試みるメーカー³⁾⁴⁾が現れ、その中で技術的に比較的問題の少ない切削異形板がコネクターなどに使用され始めた。しかし、これらは加工精度、品質の安定性など多量生産方式としては問題も多く、需要側の要求する品質に対し不満足な点が多かった。これに対し、前記特許に示されている加工方式を基本技術として電子機器業界の要求する異形板の量産化技術の開発も進められた。しかしながら、検討が進むにつれて上記技術のみでは要求される多種多様の断面形状の一部を除けば対応し得ないことが明らかになってきた。当時、電子機器業界その他から異形板に対する強い供給要請があるにもかかわらず、これに十分対応し得る加工技術がなく、一部のメーカーにおいてはその開発、使用を断念するところも現れた。しかし、昭和 46 年に至り、従来の方法とは全く異なる成形方法の着想が得られ、以後この実用化が進められ成形装置の開発を始め、多数の周辺関連技術⁵⁾と装置の開発を合わせ圧延異形板の量産技術が確立された。この時期はほぼ昭和 48 年であり、以後、その広範囲な形状の成形能力と高品質は電子機器業界の要求を十分に満足するものとなり、電々公社仕様による電子交換器用リレーへの採用を始め、各種産業用電子機器への採用、最近に至りレジスタタイプのパワートランジスタへの国内全メーカーでの採用などその応用範囲と需要量は急激な拡大を示している。

4. 圧延異形板の製造法

4.1 製造法に要求される条件

異形板の 1 サイズ当たりの月間使用量は 0.1~10 t のオーダーであり、平均 1~2 t である。形状的には近時ますます複雑化する一方、高精度のものが要求され、材質的にも銅合金以外の鉄あるいはニッケル合金など、その用途の拡大とともに広範囲の異形板が要求されている。このような背景を考慮すると、異形板の製造方式は、次のような条件を満たすことが必要である。

- (1) 広範囲の断面形状及び合金に対し十分な成形能力を持つこと。
- (2) 高価な設備、治工具は使用しないこと。
- (3) サイズ変更にとまらぬ段取り変更が容易であること。
- (4) 工程短縮のため最終製品に近い素材寸法から成形できること。

以上の条件は、異形板の製造は多種少量生産に対応し

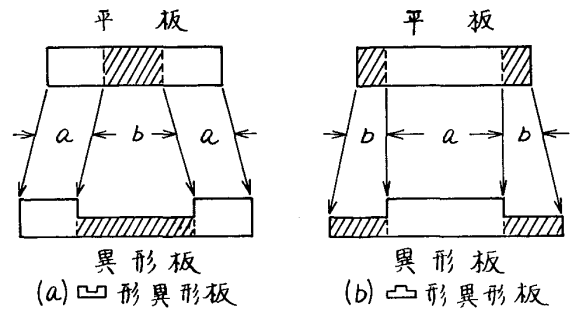


図2 平板と異形板の断面関係

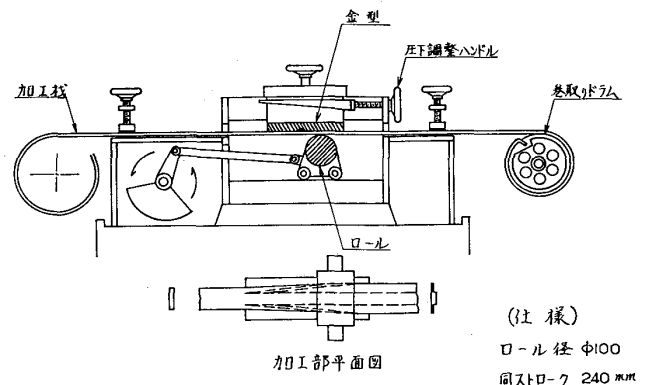


図3 帯板用クロス圧延機の構造

得るものでなければならないことを示すものである。

4.2 成形機構と加工機の構造⁶⁾

塑性加工により平板から異形板を成形する場合、最も単純な断面変化は図 2 に示すように異形板の厚部 a に相当する部分では板厚、板幅とも変化することなく、薄部 b においては板厚の減少を幅拡がりに置換する変形と考えられる。これを実現するためには板幅の一部を幅方向に流動させる必要がある。しかし、従来の圧延機を適用すると、先ず初期パス段階で板長手方向に圧延方向を直交させるいわゆる交叉圧延において歯車状ロールを用い局部的幅出しを行う方法が考えられるが、この方法では当然圧延できる材料長さはロール幅以下に限定され、長尺条材の加工は全く不可能である。あるいは、溝幅を変えたロールにより順次溝幅を拡大する圧延も考えられるが、この場合、異形板一形状に対し数 10 本の溝ロールが必要となり、いずれも非現実的な製造方法である。

以上のように、従来長尺条材の幅方向への圧延は工業的にはほとんど不可能と考えられていたのであるが、この難点は次のような方法により解決され、長尺異形素板の成形が可能になった。

すなわち、図 3 はこのような加工を目的に開発、製作した“帯板用クロス圧延機”とでも称すべき加工機の概略構造を示す。

加工はクランクにより往復運動を行う円筒ロールと、これに平行して設けられた図 4 に基本的形状を示す平板状金型との間に加工材を通すことにより行われる。す

なわち、くさび状凸面を有する平板状金型の成型斜面とロールとの間で材料は斜面にそつて圧縮を受け板厚を減少するとともに余分の材料は斜面に押し出され板幅を増加する。一方材料は巻取りドラムによる前方張力とロールの往復運動により脈動的に送られる。すなわち、巻取りドラムは定速回転源との間をトーショナルバーを介して接続され、ロールの往復運動にともなう張力の変動に

追従し回転速度を変化する。一方、ロールはその運動方向に従つて材料に進行方向荷重を与え、この荷重方向と巻き取り方向が一致したとき材料に送りが発生し、この送りは既に加工された材料斜面と金型面との間にかみ込みを生じ次のロールの通過時に加工される。

このように、本加工はくさび状凸面を有する平板状金型とロールの往復運動による圧縮加工および材料の送りの連続的繰返しにより進行するものである。

図 5 はこの時の材料の基本的な成形過程を示すもので、(a)、(b) 図とも中心線を境に上部に格子線により材料の流れを示し、下部には変形各部の名称を示した。

まず、(a) 凹形異形板の成形過程は素材板厚の未加工厚部が成型斜面において圧縮を受け板厚を減少するとともに板幅を拡大し、この時、未加工厚部と異形板の厚部を形成する非加工厚部は幅方向に剪断変形を受けながら幅方向に移動する二つの変形により成り立っている。

一方、(b) 凸形異形板では幅中心部の非加工厚部は何らの変形をも受けることなく厚部を形成し、薄部のみの変形で成形される。このように本加工は幅方向への変形が主体となつているものである。

写真 1 は凸形異形条の成形に用いられる金型(下)と成形過程にある被加工材(上)の一例を示すもので、本加工法により帯板が幅方向に拡がりつつ圧延されていることが示されている。

以上述べた加工が成立するためには金型については図 4 に示される成型斜面角 α と、先端角 β 、ロールについてはその径が次のような必要条件を満たさなければならない。

(1) 成型斜面角 α

成型斜面の働きはロールとの交点で板厚を減少させ、余分の材料を幅方向に押し出す作用をするものであり、従つて、この斜面角は材料と金型およびロールとの間に

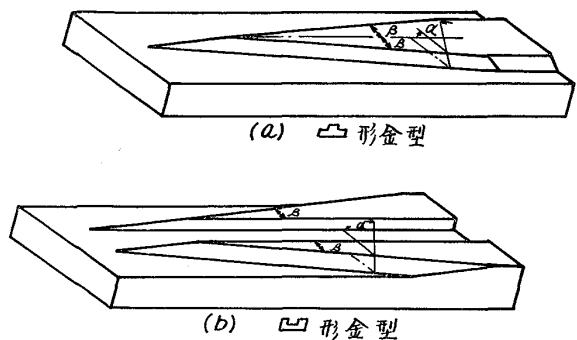


図 4 異形板成形金型の基本形状
 α : 成型斜面角 β : 進行角

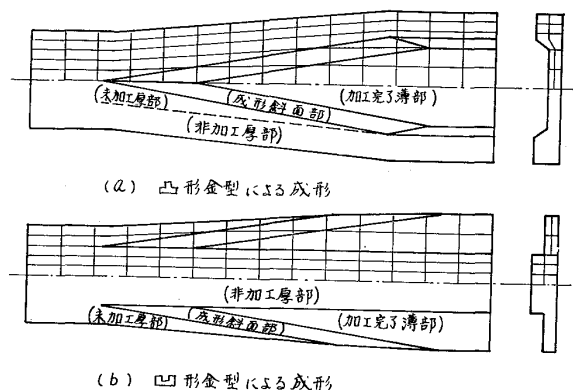


図 5 異形成形過程における幅拡がりモデル

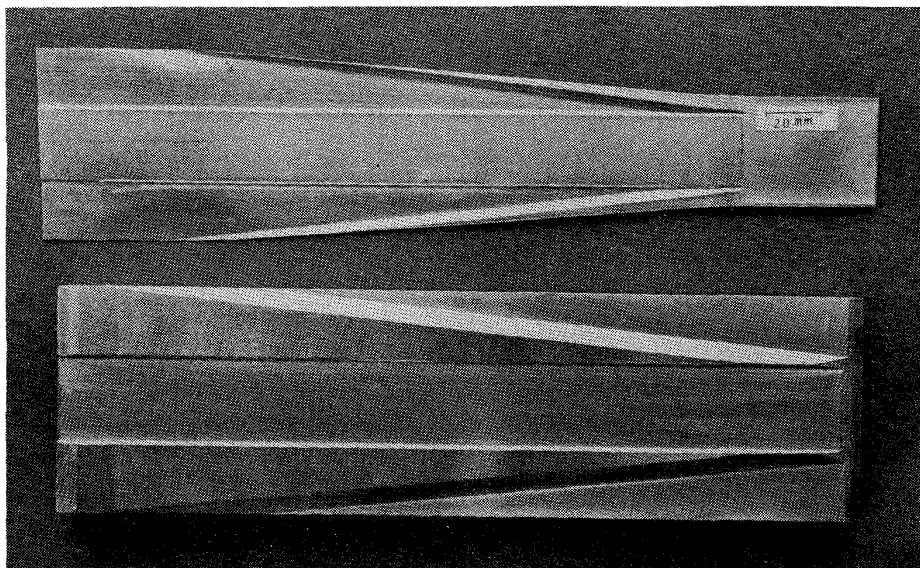


写真 1 成形に使用する金型 (下) と成形過程の材料の幅拡がり状態 (上)

働く摩擦角以上に大きいことが条件である。しかし、この角度が過大の場合は既に加工された薄部に幅方向荷重が働くことになり、薄部を破断することになる。

一般的には摩擦角よりわずかに大きい程度が適当な角度である。

(2) 先端角 β

本加工では加工前後の板幅の増大が著しい。この増大はロールの往復行程内で起こり、板両外側の未加工厚部では幅方向に曲げ変形を受ける。そして、この曲げ角度は型の先端角と薄部の圧下率に比例して増大する。これが過大となると成形された異形板に端伸び現象が現れる。従つて、先端角は小さい方が望ましいが、これを小さくするとロールの往復行程は増大し、装置の小型化と高速化にとって不利となる。

(3) ロール径

成形斜面における材料の流れを考慮すると、ロールと材料の接触角は成形斜面角に対し十分小さいことが必要条件となる。他に、ロールに負荷される加工荷重、運動にともなう慣性質量などが考慮の対象となるがこれらは機械設計上の問題である。

4.3 加工の開始方法と定常動作特性

本加工は材料に設けられた成形斜面と金型の成形斜面のかみ込みにより進行するものであるが、加工開始点では材料にこのような成形斜面は無く、従つて、次のような方法で加工が開始される。すなわち、材料を所定の位置にセットし、無圧下の状態でロールおよび巻き取りドラムを始動し、材料の送りとともに圧下量を増加し所要の圧下量まで続ける。この間の材料の送りはおよそ、1~2 m で、徐々に板厚を減少するとともに反比例的に板幅を増大し所定の断面形状となる。

定常加工状態となつた本加工機の動的加工特性は主にロールの往復運動と関連して発生し、図 6 に示すような動作特性が認められる。すなわち、材料の送りはロールが型先端から後端に向かうときに生じ、反対に後端から先端に向かうときはほぼ停止状態となる。一方、巻き取り張力はロールが型後端から先端に向かう材料の停止時に高くなり、送りが生ずると低下する。これは、前述したように巻き取り張力とロールによる進行方向荷重が一致したときに送りが生じていることを示すものである。

このようにして送られた材料のロール通過時の加工量はロールの一往復間の材料の送り量として図 6 (c) に示される。すなわち、加工量はロールの一往復で一定値となるが、往路と復路では送り速度の影響を受け、ロールが型先端から後端に向かうときのほうが大きい。

成形加工に必要な最大荷重の大きさは、これが動的運動をともなう場合、機械の構造とその製作の難易に大きな影響を与える。図 6 (d) は加工時にロールと金型間に作用する成形荷重を示すもので、その変化は金型、材

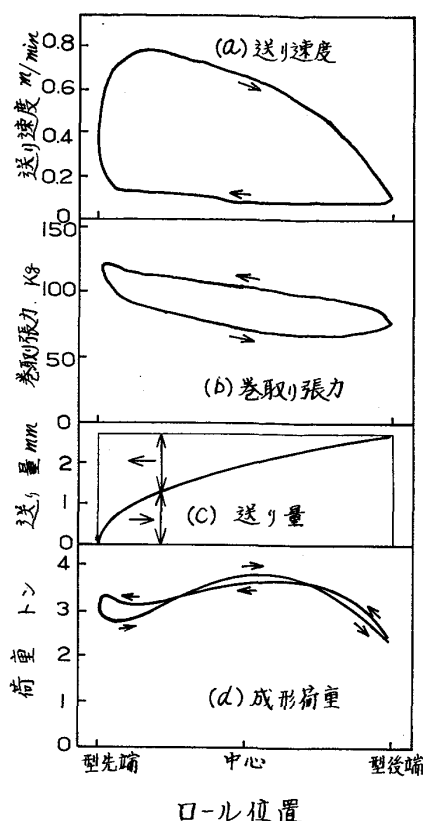


図 6 ロールの往復運動にともなう加工動作特性の一例 加工条件：ロール径 $\phi 100$ ，同ストローク 240 mm，被加工材料：黄銅，薄部幅 30 mm

料，加工条件，機械剛性の影響を受け複雑であるが，最大荷重はわずか 4 t で極めて小さい。実用的にはこの数倍となることも考えられるが，実用化にとって有利な値である。

以上，本加工法について，その加工原理と動作特性について述べた。従来の圧延あるいは押出し加工法は一定の連続した材料の流れによる全断面同時変形であり，このため材料の流れ方向は互いに拘束され，加工荷重も大きいものとなつていた。これに対して，本加工法の変形は金型の成形斜面とロールの交点に限定され，この交点はあたかもテレビ画面における輝点のように板面を走査し，成形斜面に設けられた成形条件にしたがい材料を加工する。すなわち，微小加工の積み重ねとして一つの断面を形成するもので，このため変形に対する他の部分の拘束が小さく，必要な変形の指示を容易に行うことができ，この結果，複雑な成形加工も比較的簡単な金型と小さな加工荷重により可能となるものである。

4.4 成形能力と加工精度

本加工法の成形実例を図 4 に示した二種の金型を用い加工したときの成形過程にある加工材を 20 mm の等間隔に切断しその断面変化を示したものが写真 2 である。また，これらの成形完了後の板厚分布を示したもの

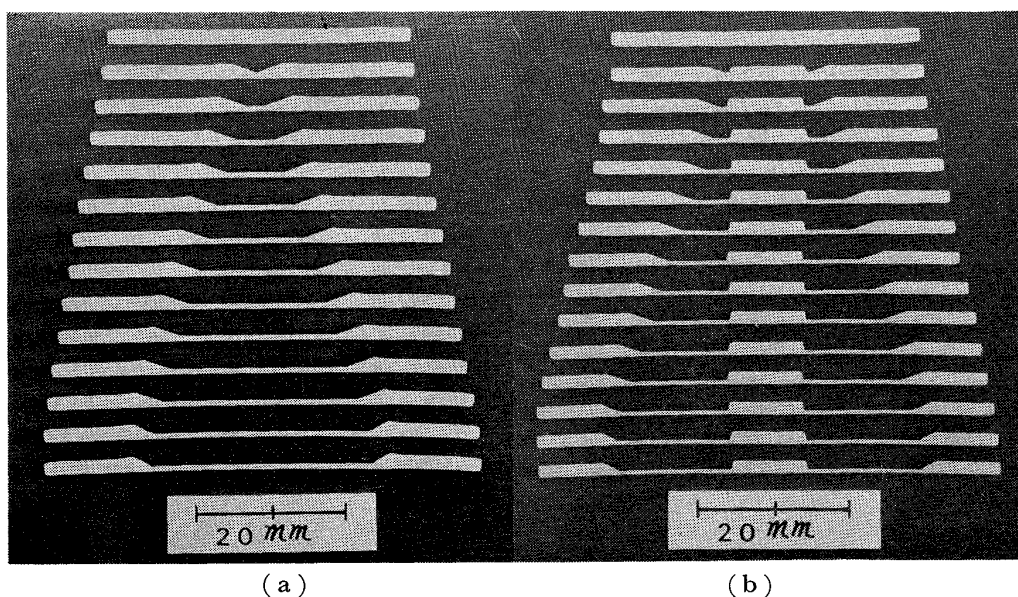


写真 2 成形過程における断面変化 (a)凸金型, (b)凹金型により成形

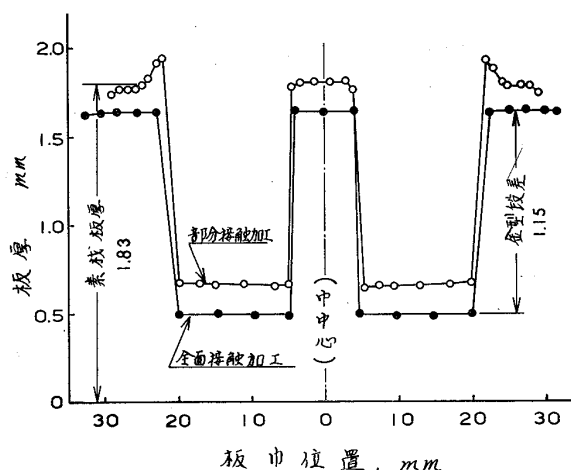


図 7 成形加工材の板厚分布に及ぼす金型段差の効果 被加工材：黄銅

が図 7 である。これらの図によれば金型に設けられたくさび状凸面は加工材に対し忠実にくさび状溝を形成しており、また、素材板厚、1.83 mm に対し厚部板厚 1.8 mm 薄部板厚、0.63 mm に成形されており、本加工法には十分な異形板の成形能力があることが示されている。

しかしながら、本加工法が真に有効な方法であるかどうかは成形された異形板がこれを異形素材として更に異形ロールによる圧延、すなわち異形圧延に耐えうる板厚精度に成形できるかどうかにある。一般の平板の圧延ではその圧下率は任意に選べるが、異形圧延においてはロール形状と異形素材寸法により正常な異形板として圧延できる圧下率は唯一である。すなわち、異形素材として必要な板厚精度は一般の平条に比較してはるかに高精度のものが要求され、これを圧延する圧延機の機能、特性にもよるが、同一ロット内でのばらつきは $\pm 2\%$ 以下、同一条内では更にこの $1/2$ が目標となる。

これに対し、本加工法により成形された異形板の幅方向板厚分布は成形条件により変化する。すなわち、図 7 はこのような板厚分布を示すもので、金型と加工材の接触を薄部のみに限定した部分接触加工では成形斜面上部肩に 0.1~0.2 mm の盛り上がりが生じ、薄部においても中心部が薄くなる傾向が認められる。しかし、これらの現象は金型と加工材を全面接触させ加工することによりそれぞれ数分の 1 に軽減され、実用上、十分な精度とすることができる。

一方、長さ方向の板厚変動の原因は通常の圧延と同様にロールなどの熱膨張によるもの、ロールの偏心および素材の変動によるものがある。これらのうち熱膨張によるものは主として加工開始時の過渡的なものであり、十分な冷却とその管理を行うことにより連続加工時では特に問題とならない。ロールの偏心についても本加工で使用される $\phi 100$ 程度のものでは数ミクロン以下のものは容易に製作できる。素材板厚の変動の影響については、本加工のようにロールと金型により同一個所を数 10 回の繰り返し加工を行う方式では、加工前の板厚の変動が成形後の板厚変動におよぼす影響は極めて小さい。本加工のこのような特長は引き続きこれを異形素材として圧延を行うためには極めて好都合なものである。

4.5 各種断面の成形加工例

本加工法は使用する金型の成形斜面に材料の送り方向に溝を設けることにより容易に複雑な形状の異形板が成形できる。更に、このような成形能力は対称形状に限定されるものではなく進行角の左右の非対称化およびロールに溝を設けるなどのわずかなくふうにより、より複雑な断面形状の異形板が成形できる。

このようにして成形された異形板の代表的形状の成形過程の形状変化を次に示す。写真 3 (a) は凸形異形板の

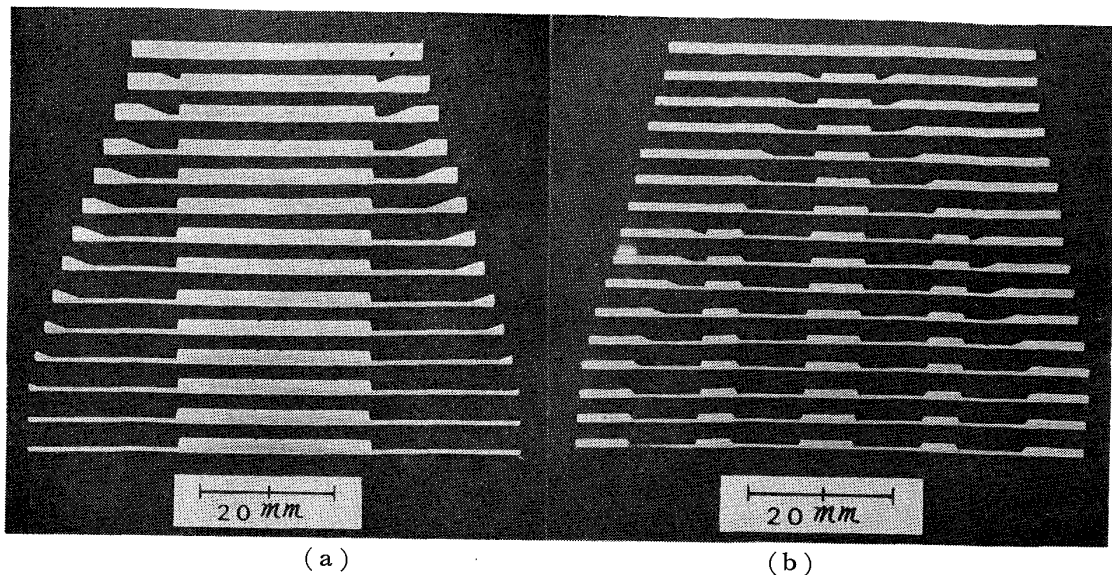


写真3 成形過程における断面変化 (a) トランジスター用銅异形板 (b) 多条溝黄銅异形板

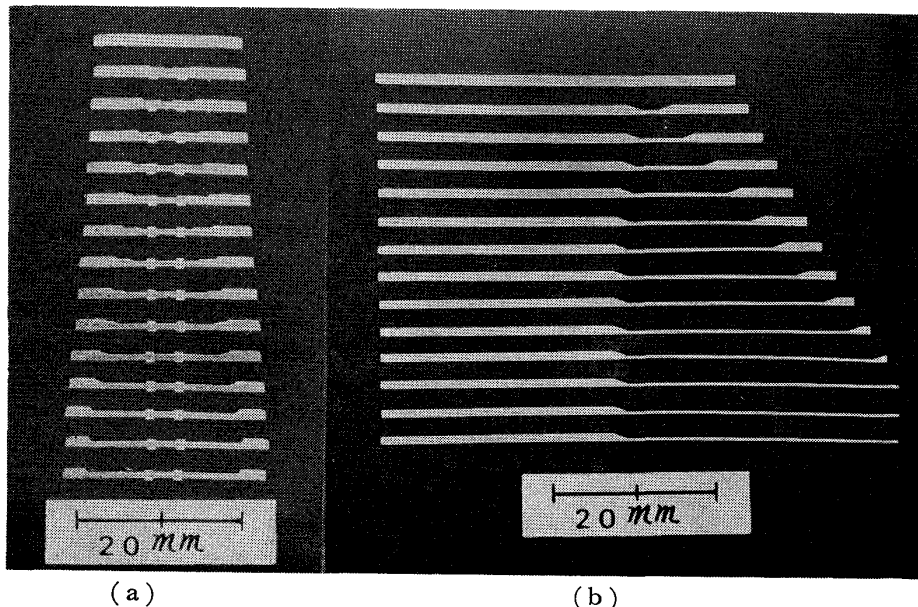


写真4 成形過程における断面変化 (a) 端子用銅异形板 (b) コネクター用リン青銅异形板

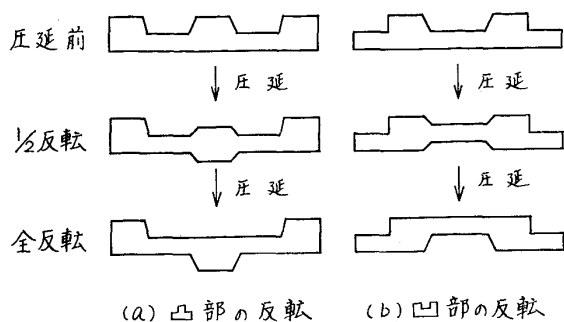
代表的なもので、トランジスター用リードフレームに使用されている。この形状は厚部と薄部の板厚比が最も大きくとれ、精度も高く、加工も容易である。もし、これを切削加工にて成形するなら全断面積の 50% は切削除去しなければならない。写真3 (b)は四本溝の成形例で、幅の狭い异形板の加工ではこのような多条溝に成形後スリッターで分割使用される。以上は左右対称片面异形の例であるが写真4は両面异形および非対称の例を示すもので(a)はロールにも溝加工を施して成形したもので、中央部の両面に成形された凸部付近が実際に使用され、両端部の厚部は巻き取りの都合上ダミーとして残したものである。写真4 (b)は板幅の片側だけを成形したもので、非対称の成形も可能であることを示すものであ

る。

以上の例は複雑な断面形状のものでも比較的小型の機械と簡単な金型により成形できることを示すもので、本加工法は异形板の成形方法として形状的にも十分な成形能力を有すると同時に、その応用範囲も広いことを示すものである。

4.6 异形圧延加工

本加工法により成形された异形素板は当然のことながら部分的に異なる変形量の加工を受けており、このため、成形後の機械的特性は材料の加工硬化特性と成形時の変形量により定まり、部分的に機械特性の異なる材料となる。一方、异形板はその使用目的により必要とする機械的特性は定まり、成形加工時に付与される機械的特



第 8 図 圧延による反転の基本的形状の変化

性と一致することは極めて少ない。このため、成形された異形素板に所要の機械的特性を与えなければならない。

この目的のために本加工法により成形された異形板は、更に焼なましおよび異形圧延が行われる。すなわち、焼なましは成形加工による加工硬化を除去し、いつたん、均一な硬さの焼なまし材とし、これを改めて異形ロールにより全面均一な圧下率の圧延により所要の機械的特性を与えるものである。このように所要の形状と機械的特性をもつ異形板は成形加工→焼なまし→異形圧延の三工程により始めて完成するものである。

以上、異形圧延は材料の機械的特性の付与工程として説明したが、本工程は更に局部的形状の改善、表面粗さの向上などの効果があり、また、焼なましと圧延の繰返しにより 0.1 mm 以下の薄部をもつ異形板の製造をも可能にする。

しかし、より積極的な異形圧延の効果は成形された片面異形板を圧延することにより異形面の一部を他の面に反転し両面異形板に成形できることである。そして、この反転は図 8 に示すように凹部、凸部いずれについても可能である。写真 5 は異形圧延された代表的な異形板の断面形状を示すものであるが、これらのうち、二種類の両面異形板 (a), (d) はこのような方法で成形されたものである。このように異形圧延工程により断面形状を変更し得ることは、本加工方式による成形能力を更に拡大するものであり、その応用分野をよりいつそう広げるものである。

なお、圧延された異形板は、更に、スリッター加工、

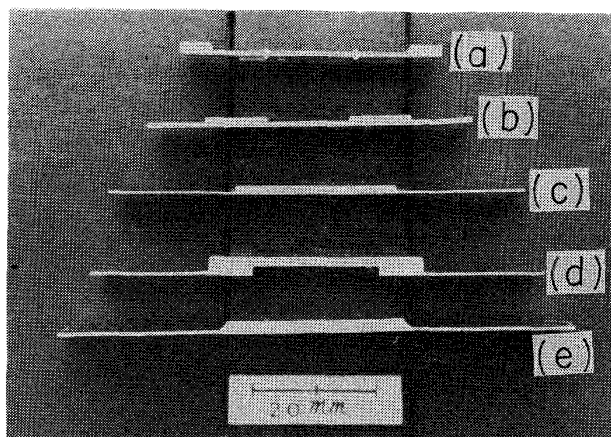


写真 5 圧延異形板の断面形状

矯正などの平板と同様の加工を受け異形板として完成される。

5. あとがき

以上、圧延異形板の製造法について、異形成形技術を中心に紹介したが、本製造法が実用化されたのは、ここ数年来のことであり、今後は基礎的研究と量産経験の積み重ねにより技術的改良を進め、成形能力の向上と、いつそうの高品質、高経済性をはかるとともに、更に新しい応用分野への拡大も期待されるものである。

なお、本製造法の開発に際しては、東北大学、和泉修教授を始め、伸銅業界の方々に温かい御指導と御協力をいただき、また、応用開発に際しては電子技術業界の方々に有益な助言をいただいた。ここに厚く感謝申し上げる次第である。

文 献

- 1) 和泉 修, 福田武司, 大日方一司: 特許公報 昭 37-667
- 2) 清水湧一, 牟田敏保, 落合昭夫, 伊藤莊三, 比屋根正夫, 矢吹真之助: 電子通信学会, 機構部品研究会資料番号, EMC 70-9 (1970, 6)
- 3) G. TEMBE: Engineering Materials and Design January (1972), p. 13~16
- 4) アントン・フランク: 特許公報 昭 50-5662
- 5) 福田 弘: 特許公報 昭 52-908, 昭 52-36512 昭 53-7302
- 6) 福田 弘: 第 26 回塑性加工連合講演会講演論文集 (1975) 11, p. 101~104