

特集 6

板材成形加工の複合化

——ロールフォーミング加工を中心として——

Some Discussions on Composite Forming Process of Sheet Metal Based on Cold-Roll-Forming Process

木 内 学*

Manabu KIUCHI

ロールフォーミング加工を中心とする板材の成形加工の複合化という観点から、従前的な各成形加工プロセスの技術的特質あるいは、素材の変形挙動の面からみた特徴・利点を、従来のロールフォーミング加工に結合または導入することにより予想される新しい成形プロセスや加工システムについて述べる。

1. はじめに

金属材料の一次製品として最も代表的な板材は、多岐にわたる社会的・工業的諸要求を満たす金属製品用素材として大量に製造・供給されているが、その二次加工である各種成形加工プロセスは、いわゆる塑性加工ひいては生産加工の分野において極めて大きな役割を任っており、その製品は、航空機・船舶・自動車・建築土木構造物・電気製品・各種プラントなど、およそあらゆる工業の分野において広く用いられている。その意味で、現在、板材の成形加工法として実際生産の場において適用されているものも多種・多様であるが、それらを加工機械又は設備の面から大別すると、(1)プレス加工、(2)ロールフォーミング加工、(3)スピニング加工、(4)液圧成形その他の特殊成形加工、等に分けられ、また板材が受ける加工あるいは変形の形態も、曲げ・絞り・張り出し・伸び・しごき・圧延・切断など、多岐にわたっている。

これらの成形加工法は各々独自の特徴・利点を有する成形技術として、種々の社会的・工業的要求に基いて発展し、様々な形で実際生産の場に適用されているが、その特徴・利点と同時に成形技術上あるいは手法上の制約または限界をも有しており、従来の意味での加工法の枠内で次第に高度化する工業的な諸要求や成形技術上の諸問題に対処しようとするかぎり、おのずからそこに加工法としての機能的限界あるいは適用限界が存在すると云える。他方、これらの成形加工法が有する特徴・利点は、必ずしも従来の意味での各加工法に基く手法によってのみ実現可能であるとは限らず、新しい適切な付加的手段あるいは手法の開発、各加工法の有機的結合など、適用の如何によっては、従前的な各加工法の枠を越えてその特徴・利点を十分活かすことが可能である。且つまたその様な各加工法相互間の成形技術上の特徴・利点の導入を通して、従

前的な加工法の制約を打破し、成形機能の改善あるいはその限界の拡張や高度化、ひいては新しい加工法や成形技術の開発の可能性も生まれてくる。

筆者がここで云う板材成形加工の複合化とは、この様な見地から、従前的な各成形加工法の技術的内容および物理的意味の系統的分析を行ない、それらを再構成することを通じて、成形技術の高度化・システム化、製品品質の高度化、あるいはまた新しい成形加工プロセスの開発などの可能性を追求しつつ、多様な社会的・工業的諸要求に対応し得る成形加工技術の新しい体系を追求しようとするものである。

この様な複合化を考える場合、二つの側面からの検討が可能でありまた必要でもある。一つは、従前的な意味での加工法の技術的あるいは設備的な結合とシステム化を通して成形機能の拡充や成形プロセスの高度化を図るいわばハードウェア的複合化であり、他は加工中の素材(板材)の変形内容を従前的な各成形加工法の枠内で考えてきた変形に限定せず、その種類・量的範囲を結合あるいは拡張することにより変形内容そのものを複合化することを通じて新しい成形プロセスを組み立てていくソフトウェア的複合化である。前者は従来の各成形加工法の結合やシステム化により、単独な加工法では不可能であった成形機能の開発あるいは成形能力の質的変換ならびに高度化、高能率化・省力化などを意味し、後者は、従来の各成形加工法の枠内では本来目的としなかった変形を新たに素材に付加することにより、成形の目的ならびに内容の質的変換を図ると同時に成形能率・成形限界の高度化あるいは製品性状の改善、さらには新しい成形プロセスの開発等を期するものである。

本報においては、この様な見地から板材の成形加工に関する新しい課題としてその複合化の問題をとりあげ、広範な問題の中から特にロールフォーミング加工を中心とした複合化の可能性あるいは新しい成形プロセスの考え方などについて、問題提起の意味をも含めて2, 3の私見を述べる。

* 東京大学生産技術研究所第2部

2. 複合化予歪付加成形プロセス

通常行なわれているロールフォーミング加工により成形される製品の形状不良の大部分は、成形中に発生する付加的歪成分の材料内における不均一分布によって起る。形状不良の種類およびその程度は、不均一分布する歪の種類やその大きさによって異なる。この付加的歪成分の成形時における挙動は、対象とする製品品種・寸法、素材の機械的諸特性、成形のパススケジュールなどの影響を受け、そのため、発生する製品の形状不良の形態も多種・多様であるが、その代表的なものの一つに電縫管の成形時に発生する溶接部の形状不良いわゆる縁波（エッジウェーブ）がある（図1参照）。

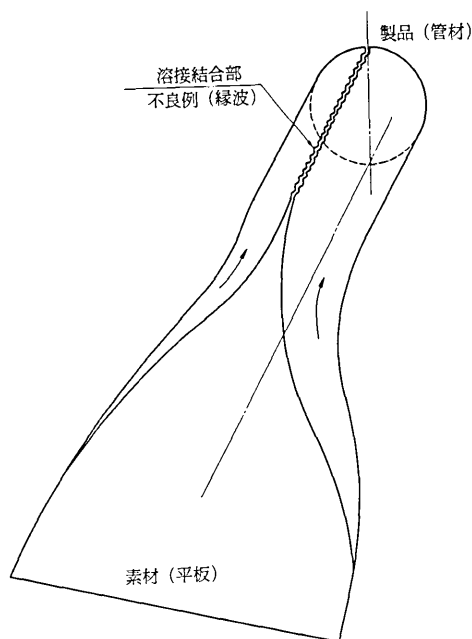


図1 製品形状の不良例（電縫管成形における縁波の発生）

これは成形時に発生する長手方向の膜歪の巾方向への不均一分布、すなわち素材の縁部に他の部分に比較して相対的に大きな長手方向の伸び歪が発生することによるものである。この長手方向膜歪の不均一性は、成形時に素材各部の変形径路、特に空間的軌跡長が異なるというロールフォーミング加工固有の加工法上の特質または制約に帰因するものであり、その量的程度の差はあれ、本質的に避けられない現象である。現在この縁波の発生を防ぐために、ロールフラワーの設計・パスラインの設定あるいは圧下調整などの面において多大の努力が払われており、或る程度の効果はあげているが、その効果にも限界があり、十分満足できる結果は得られていない。特に管寸法を表示するパラメータ

としての D/t （ D =直径/肉厚）の値が大きいいわゆる薄肉管の成形加工においてこの問題が顕在化する傾向が強く、成形限界を規定する大きな要因となっている。

この問題に対処する手法として、筆者は次の様な新しい複合化成形プロセスを提案したい。すなわち、上述の如く、問題の基本的要因は製品内に残留する長手方向膜歪の不均一性にあり、これを均一化することによって製品の形状不良は防除できる。また形成中に発生する不均一な歪分布はロールフォーミング加工という加工法上の制約に帰因する不可避免的現象である。とすれば、製品内に残留する歪、特にこの場合長手方向の膜歪の分布を均一化するためには、成形時に発生する不均一歪と逆の分布パターンを有する不均一歪を予め何等かの方法により素材に付加しておき、両者の相殺効果により製品内の残留歪分布の均一化を図ればよいことになる。即ち、従来の成形プロセスの前段階に、素材に所要の不均一予歪を付加する加工プロセスを結合し、両者の適合を図るのである。これが複合化予歪付加成形プロセスの基本的な考え方である（図2参照）。

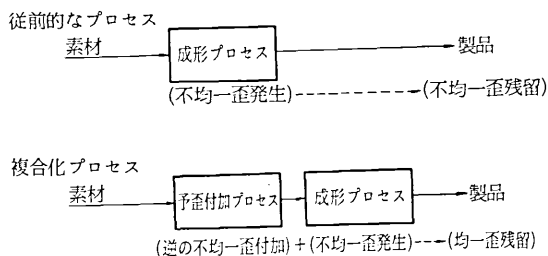
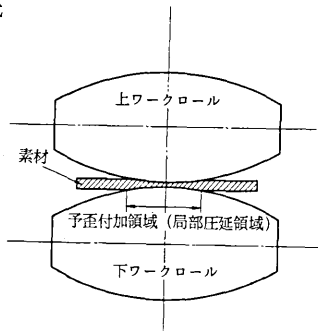


図2 複合化予歪付加成形プロセスの基本的概念

従来、板材の成形加工においては、素材の形状は平坦であることが強く要求され、平坦度が高い程成形加工にとって好ましいという考え方が支配的であった。もちろん、ロールフォーミング加工もその例外ではない。しかしながら、成形時の素材の変形内容あるいは変形挙動の特性の多様性から考えて、このような考えが常に真とは限らないことは容易に想像できる。場合によっては上述の様な予歪を付加することにより従来の意味から言えば形状の悪化した板材を素材として成形を開始する方が好ましい結果が得られることもありうる。このことは鍛造加工における素材の形状・寸法あるいは深絞り加工におけるブランク形状の選択が、加工限界や製品精度に大きな影響を与える場合があるという問題と本質的には同じと考えられる。

素材に予歪を付加するプロセスとしては、種々の加工方法が考えられるが、主な具体的方法としては、(1)局部圧延方式と(2)繰り返し引張り曲げ方式とが考えられる（図3参照）。前者は通常の圧延プロセスを素材す

(1) 局部圧延方式



(2) 繰返し引張り曲げ方式

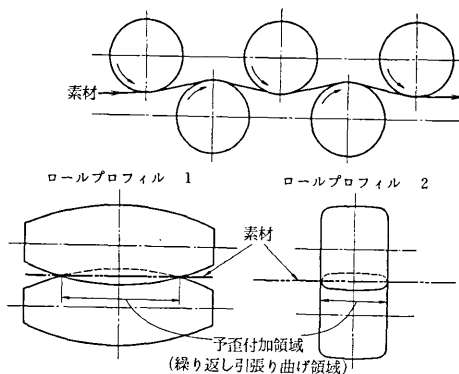


図3 予歪付加プロセス (例)

なわち板材の巾方向に限定された領域に適用し、板厚の不均一な減少とひきかえに不均一な長手方向膜歪分布を付加しようとするものであり、後者はテンションレベラーによる矯正加工プロセスを逆用し、これを同じく板材の限定された領域に適用して不均一な長手方向膜歪分布を付加しようとする方法である。一般に縁波の発生の際に問題となるこの不均一な長手方向膜歪の値は高々1%程度であり、上述の加工方法により付加することが十分可能な量の歪である。また電縫管の様な単純な断面形状を有する製品の成形に関しては、成形中に発生する不均一な長手方向膜歪の分布パターンが筆者等の研究によっても既に明らかにされているので、(1)(2)の方法においてロール形状・圧下率・押し込み量などを考慮することにより、その様な歪の不均一分布を補償する不均一予歪分布を付加し、複合化された成形プロセスとして製品内に残留する歪の適合化または均一化を達成することはさして困難ではないと推定される。

この様な複合化予歪付加成形プロセスの考え方は、

上述の電縫管成形時の縁波発生防止の問題に限定せず、長手方向膜歪の不均一分布に帰因する他の多くの問題、例えば、製品の長手方向のそり・ねじれやポケットウェーブの発生防止などの面に関しても適用可能である。また、更に大きな効果としては、この複合化予歪付加成形プロセスを考えることにより、従来縁波の発生点から制約を受けていた成形プロセスにおける1スタンド当りの成形量の増加あるいはスタンド数の削減の問題に対しても大巾な改善が期待できる。特に、縁波発生の問題が顕在化し易い薄肉材を対象とする成形の場合ほど、予歪付加工が容易であろうと考えられる点も興味深いと云える。

3. 複合化圧延成形プロセス

従来の意味での通常のロールフォーミング加工本来の目的は素材(板材)に巾方向の曲げ加工を施し、所要の断面形状を有し長手方向に一樣な製品を成形することにある。その意味でロールフォーミング加工では素材の肉厚を減少させることは目的としていない。またそのためにいわゆる圧延加工に比して極めて小型且つ簡便な設備ならびに小荷重・小消費動力を以て加工が可能である。しかしながらこの板厚減少を目的とする変形または加工を積極的に加えず、曲げ変形を主体とする加工を施すことを前提としていることにより、成形中に素材に発生する歪の挙動に対する外部からの制御機能が著しく制約されていることは歪めない。例えば前節で述べた長手方向膜歪の不均一分布に関する問題にしても、成形ロールの曲げ加工の機能のみにより長手方向膜歪の挙動を外部的に制御するのは著しく困難である。他方、ロールにより板厚減少を伴う加工を施すすなわち圧延加工を行えば素材は容易に長手方向に伸びる。従って、この圧延加工による素材の変形挙動を曲げ加工による変形挙動に重ね合わせ、成形の目的に応じて両者の適合を図ることにより、上述の長手方向膜歪の不均一分布に伴う問題をはじめ、従前的な成形プロセスの範囲では処理しきれなかった多く

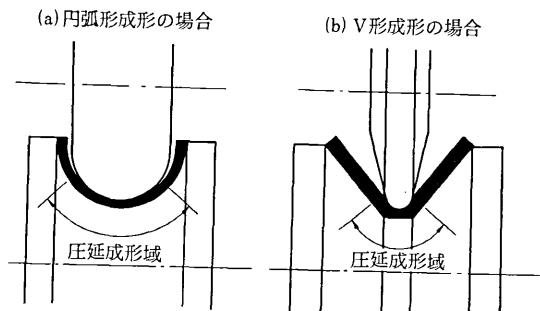


図4 圧延成形の例

の問題に対して新しい見地から対処することが可能となる(図4参照)。

例えば、従来のロールフォーミング加工において、下流側へ向って順次成形ロールの設計上の無送り点の径を1~2%ずつ大きくし、前後のスタンドに設定されたロールの周速差によりスタンド間の素材に張力を加えて素材内に発生する長手方向膜歪の巾方向分布の均一化を図る、という試みがしばしばなされているが、この問題はよく検討してみるとその考え方に根本的な疑問がある。確かに、上記の方法により或る程度の効果があげられているように見えるが、実際に効果を与えているのはスタンド間張力ではなく、ロールによる局部的圧延加工である場合が多い。すなわち、ロールによる局部的圧延により発生する素材の長手方向の伸び歪が長手方向膜歪の巾方向分布の均一化に大きく寄与しているのである。通常、ロール径増大による周速の差異の効果を有効ならしめるためにはロールが十分素材を噛み込む必要があるとの考えから、この様な場合、ロールに強い圧下力(又は押し込み量)を与える。しかしながら、ほとんどの場合、発生する圧下力(ロール反力)にロール・素材間の摩擦係数を乗じた程度の引張り力では、たとえ素材の一部の領域であるにせよ長手方向に伸び変形を発生させるのには小さ過ぎる。他方、ロールと素材の接触は限られた狭い領域において起り、加えられた圧下力により素材の局部的領域が圧延加工を受ける可能性は十分あり、結局、多くの場合にみられる上述の効果はこの圧延加工に伴う長手方向伸び変形の発生によるものに他ならない。

圧延加工を曲げ成形加工に重ね合わせた複合化成形プロセスにより期待できる効果は、この様な長手方向歪の外部的な制御の問題ばかりではなく、成形後の弾性回復量の制御や製品の寸法精度の高度化、長手方向・巾方向への一定曲率の曲がりを実現する製品の曲率の制御、などの問題もある。曲げ成形に伴って発生する応力の板厚方向分布は、圧延加工により均一化され、素材内部の弾性回復モーメントはゼロに近づくため、成形後の弾性回復変形は急激に減少する。また圧延加工により素材は成形ロールのプロフィールに強くなじむため、製品の断面形状・寸法は著しく改善されることが期待できる。この様な意味から、近年新しい問題となりつつある精密成形の分野においては、この圧延加工を導入した複合化成形プロセスの適用が重要な要点となる可能性がある。

4. 切断・成形・接合の複合化成形プロセス

板材の成形加工を単に従前的な狭義の成形プロセスの枠内で考えずに、その前後の加工プロセスとして剪断(又は切断)加工および溶接(又は接合)加工を組合わせて、これらを一貫した広義の成形加工システム

としてとらえることにより、従前的な成形加工法では考えられなかった新しい各種の製品の成形加工が可能となる。

例えば、薄肉広巾の板材からロールフォーミング加工により成形される多くのプレート類・波板類は、建築構造物その他の床壁面材・屋根材などとして広く用いられているが、このうち特に床壁面材に関しては、その使用時の特性から考えて、面に垂直に作用する荷重に対しより高い剛性をもつ製品が要求される傾向にある。すなわち、これらの製品は、成形加工を通して得ることができる断面形状が巾方向の曲げ加工によるものであり、開断面であることから、通常、長手方向の曲げ剛性は大きい、巾方向の曲げ剛性は著しく小さい。長手方向の曲げ剛性に関しても、それを十分大きくしようとする場合には、断面の深さを相応に大きくとることが必要であるが、断面深さを増す程成形加工自体は困難になり、成形技術上の制約が大きな問題となる。この様な使用上の要求と成形技術上の背反する問題に対する一つの解決法として考えられるものに、図5に示す組合せ構造材がある。これは通常のロールフォーミング加工により成形された部材(製品)や板材・フープ材などを成形後目的に応じて任意に組合せて溶接または接合することにより、所要の断面形状・剛性を有する製品を得ようとするもので、極めて単純な発想に基く考えであるが、種々検討してみると可能な組合せの形態は多様であり、成形プロセスとしての可能性は大巾に拡張されることが判る。

更に、切断・成形・接合の加工プロセスを組合せることにより、組合せ構造材以外にも単一の板材から立体構造をもつ高剛性製品をつくり出すことも可能である。¹⁾その一例をあげると、まず第一に切断又は剪断加工プロセスにおいて図6に示すように板材に切り込みを入れる。次に第2の成形加工プロセスにおいて所要の特殊形状をもつ成形ロールを用いて板材の所定の領域に曲げ加工を施す。最後に溶接加工プロセスにおいて所定の部分の溶接を行なう。この様なプロセスを経て図6(b)に示すような立体構造(立体トラス)を有する製品を得ることができる。

これらの事例は多くの可能性の中のほんの一例にすぎず、上述の切断・成形・接合の複合化成形プロセスは、他の種々の分野あるいは工業的な要求を満たすための新製品開発の面において適用が可能である。特に組合せ構造を採用することによる新製品開発の面に関しては、既に指摘したようにその可能性が大きく、軽量且つ高剛性を有する床壁面材・柱材などをはじめとする各種構造用部材の製造のための加工システムの中核をなす成形プロセスとして、今後積極的に検討を進めるに十分値する課題であると考えられる。

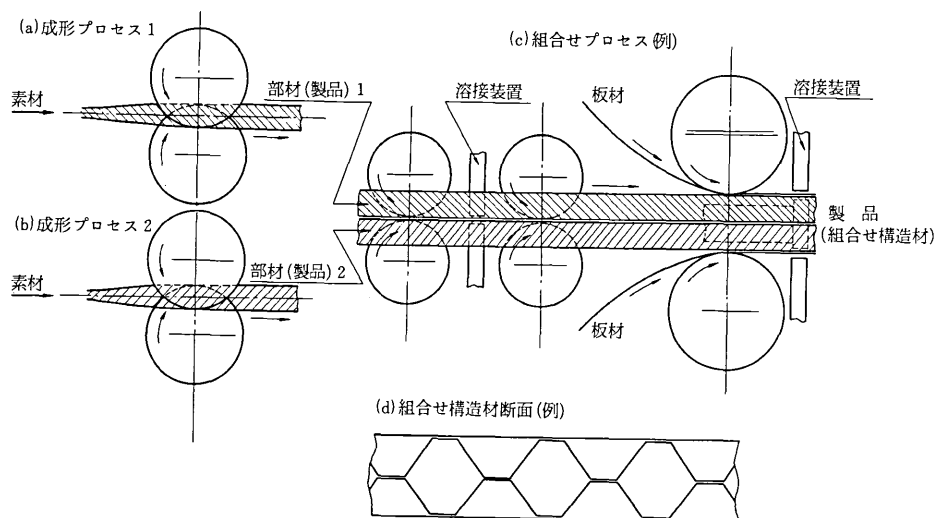


図5 組合せ構造材の複合化成形プロセス

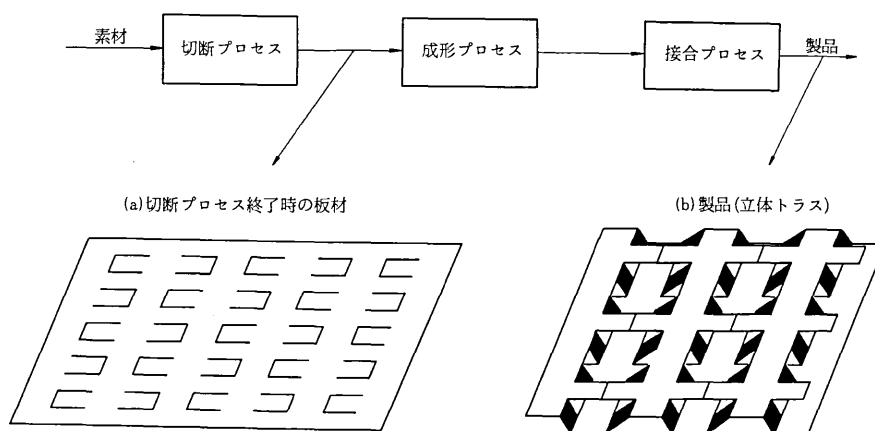


図6(a)(b) 切断・成形・接合の複合化成形プロセスによる立体トラスの成形(例)

5. 熱利用(局部加熱)成形プロセス

板材の成形加工における熱の利用は、従来わずかの事例を除いてあまり行なわれていないが、これはより積極的な検討を要するかあるいはそれに値する問題であると思われる。熱を利用する場合にも、素材全体を所定の温度に加熱して成形加工を行なういわゆる熱間加工としては、その代表的な例として鍛接管の成形プロセスなどがあるが、ここで検討する問題は通常考えられている熱間加工とは別に、局部的な集中加熱による素材特性の変化を利用する問題である。その場合、加熱による素材特性の変化の利用形態は主として次の3種類に分けられる。すなわち、(1); 変形抵抗の低下や流動特性の変化(変形能の増大、種々の異方向の発達な

ど)を利用して、工具・ロールなどにより本来素材に加えようとしている変形を容易ならしめる場合、(2); (1)で述べた素材特性の変化や発生する熱応力分布を利用して、成形時に素材に加わる不必要な付加の変形を抑制するかあるいは逆に工具・ロールなどによっては直接的に加えることができない変形を素材内部に発生せしめる場合、(3); 素材特性の変化のうち特に変形能の増大に着目し、成形加工時の割れ・破断の防止を図る場合、である。勿論、これらの利用形態は必ずしも独立に存立するとは限らず、重複した形で実現することも考えられる。

近年、ロールフォーミング加工の分野においては、厚肉材の成形技術の開発が注目され始めており、従来熱間圧延加工によって製造されていた中・大型材の

一部を冷間成形加工による製品に置き換えようとの動きや、大型電縫管に対する需要増大などの工業的要求ともあいまって、大きな課題となりつつある。その中でも特に興味深いのは、建築構造用柱材として関心を集めている厚肉の角管の成形プロセスである。通常、角管の成形プロセスとしては、(1)第1段階として素材から円管を成形し、第2段階において円管から角管を再成形する場合、(2)折り曲げ成形を通じて素材から直接角管を成形する場合、(3)折り曲げ成形により素材から \square 形断面材を成形し、これらの組合せ構造材として角管を製造する場合、がある。このうち折り曲げ成形を行なって管筈を製造する場合に大きな問題となるのが、折り曲げ部の曲げ精度・肉べり・表面の割れであり、これらの問題は素材の肉厚が増大する程顕在化してくる。この問題に対処する方法の一つとして考えられるのは、成形時に折り曲げ部の曲げ剛性を一時的に低下させることにより曲げ変形を容易化し合わせて素材の変形挙動をより好ましい形態に変えることであり、その具体的な方法として折り曲げ部の局部集中加熱法がある。すなわち、成形開始前から成形段階にかけて、素材の折り曲げ部の内側から急速な局部加熱を行ない、その領域の変形抵抗を低下せしめて折り曲げ加工を施すことにより、曲げに伴う変形を折り曲げ部内側領域に集中的に起そうとするものである。(図7参照)

その場合、折り曲げ部の曲げ剛性は素材の領域に比して著しく低下するので曲げ変形域は所要の折り曲げ部に局所化され、仕上り曲り角がシャープに決り、

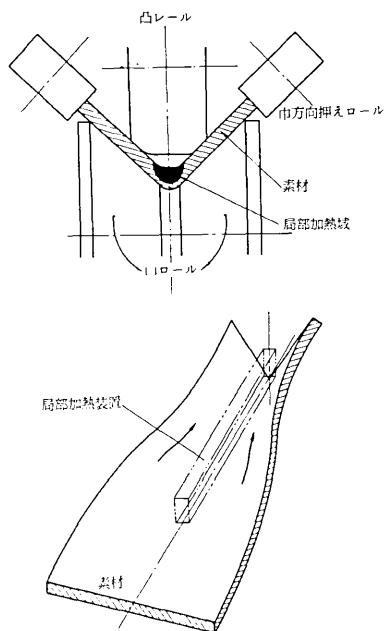


図7 局部加熱成形プロセス

また実際の変形が折り曲げ部内側領域に集中ししかもそれが巾方向の圧縮変形であることから、その領域に素材の隆起が起り肉厚の増大も期待できる。このことは製品強度の増大にも寄与することになり、極めて好ましい成形加工が行なわれ得る可能性がある。この角管の製造に関する局部加熱成形プロセスの適用によって期待できる効果は上記以外にも幾つか考えられるが、問題は、加熱方法と素材内部の局部的温度分布の制御ならびに成形プロセスとの適合化、および折り曲げ成形のための曲げモーメントの付加方法ならびに同時に必要と考えられる巾方向縮力の付加方法、である。これらの点についてはこれまでに検討された事例がほとんどないが、問題の性格上実現の可能性は十分あると考えられる。

ロールフォーミング加工に対する局部加熱成形プロセスの導入は、上述の角管製造の問題以外にも種々考えられ、厚肉の中・大型型材の成形加工に関しても角管の場合と同様な考えが適用できる。あるいはまた、薄肉材の成形加工に関しては局部加熱による熱歪の分布を利用して、成形時に発生する不必要な付加的歪の分布あるいはその値を外部的に制御し、製品内の残留歪を抑制することにより、緑波・そりなどの製品の形状不良を防止することなども考えられる。

6. その他の複合化成形プロセス

最近、ロールフォーミング加工により成形される製品で成形加工と合わせて打抜き(孔あけ)加工を要するものが増えてきている。これは製品使用時の組立てその他の面からの要求に基づくものであるが、他面、成形加工の高度化という観点からも注目すべき問題である。一般に、成形後の孔あけ加工は繁雑であり、製品の断面形状と孔あけを要する場所および孔の形状・寸法によっては、それが技術的にみて極めて困難あるいは不可能の場合もある等の理由から、このような孔あけ加工は素材が成形プロセスに入る以前の段階で行なわれるのが普通である。その場合、従来はプレスを用いて孔あけ即ち打抜き加工が行なわれてきたが、近年、回転ロールを用いた加工法の導入が試みられている。これは1対のロール表面にポンチ・ダイスに相当する工具が埋め込まれ、ロールの回転に合わせて素材の送りと打抜き加工が連続的に行なわれる形式のものであるが、この加工法の導入により極めて簡易な設備を用いて能率的な孔あけ加工が可能となってきた。勿論、現時点においてはその適用には限界があり、孔形状・寸法・板厚などとロール径・ポンチ・ダイス形状などの関係、成形に伴う孔形状・寸法の変化あるいはゆがみなど、不明の点が多い。しかしながら、従来のプレスによる加工に比して利点と考えられる面も多いことから適用の如何によっては今時の発展の可能性は大

きいと思われる。

ところで、この問題は孔あけ加工が単にプレス加工から回転ロールによる加工に置き換えられるという面以外にも注目すべき点がある。すなわち、既に指摘した通りロールフォーミング加工により成形される製品の範囲は、成形後の各部材の組合せ構造材を考えるとより大きく拡張され得るが、上述の孔あけ加工が簡便且つ高性能に行なわれるならば、その孔を利用したボルト締め等により、成形後の組合せ構造材としての製品使用が極めて容易になる。しかもその使用形態が使用者の段階で決定し処理できる利点があり、工場生産の段階では一定種類の基本形状・寸法の部材を大量に成形加工し供給すればよいことになる。このことは、多様化する製品およびその使用形態にかかわる諸要求と加工システムの合理化との調和を図るという観点からも検討に値する問題である。

更に、この孔あけ加工と同様の問題として、回転ロールを用いた或る種の張り出し加工の可能性も考えられる。これは極く一部で試みられている例もあるが、その目的としては、外装用壁面材の美観向上のための絞様の成形、製品剛性を高めるための補強用リブの成形、成形時に発生する付加的歪の吸収あるいは歪分布の適合理化による製品形状の改善、などが考えられる。しかしながらこれらのいわば二次的の目的を果すための適用以外にも、従来のロールフォーミング加工の対象外とされていた製品の新しい成形プロセスの開発の問題としてこの回転ロールによる張り出し成形加工をとらえ、従前的な成形プロセスとの複合化を考えていく必要が

あり、またその面における発展が十分期待できると思われる。

7. 結 言

本報においては、ロールフォーミング加工を中心とする板材の成形加工の複合化という観点から、従前的な各成形（加工）プロセスの技術的特質あるいは素材の変形挙動の面からみた特徴・利点を、従来のロールフォーミング加工に結合または導入することにより予想される新しい成形プロセスや加工システムについて述べた。しかしながら論すべき問題が非常に多いため、副次的な多くの問題を除外したにもかかわらず、議論が表面的なものに終わった点が多い。また、本報に述べた事項の大部分は筆者の私見であり、検討すべき点は未だ多いと思われる。更に現時点においては問題を扱う方法論も未知であるため、問題の把握・分析の手法等にも異論があり得ると考えられる。筆者は問題提起の意味をも含めて敢て大胆な議論を展開したが、筆者の私見に対する批判と合わせて、今後この方面の一層の検討がなされることを期待する。またそれによってもたらされる技術的発展の可能性は大きいものと考えられる。

(1975年5月8日受理)

参 考 文 献

- 1) 鋼材倶楽部：鉄の新用途アイデア入選作品集
- 2) 木内：生産研究，23—11 (1971)，13
- 3) 木内：生産研究，24—8 (1972)，16
- 4) 木内：生産研究，25—10 (1973)，16

正 誤 表 (6月号)

頁	段	行	種 別	正	誤																				
224	右	↓12	本 文	$-\nabla\varphi - \frac{1}{\rho}\nabla P_1 + \dots$	$-\nabla\varphi - \frac{1}{\xi}\nabla \cdot P_1 + \dots$																				
"	"	↓19	"	\boldsymbol{v}	\boldsymbol{u}																				
"	"	↓20	"	$\rho \boldsymbol{v}$	$\rho \boldsymbol{u}$																				
"	"	↓22	"	$\rho \boldsymbol{v}$	$\rho \boldsymbol{u}$																				
"	"	↓24	"	$\rho \boldsymbol{v}$	$\rho \boldsymbol{u}$																				
"	"	↓30	"	$\rho \boldsymbol{v}$	$\rho \boldsymbol{u}$																				
237	"	↓ 3	"	連続微動観測……	連続微動観測……																				
237	"	↓ 5	"	初期微動……	初期微動……																				
242	左	↑ 7	"	被害件数は手野地区……	被害件数は平野地区……																				
251	右		Table 1	<table><tr><td></td><td></td></tr><tr><td>室温×3 d</td><td></td></tr><tr><td>100℃×70h</td><td></td></tr><tr><td>150℃×70h</td><td></td></tr><tr><td>250℃×47h</td><td></td></tr></table>			室温×3 d		100℃×70h		150℃×70h		250℃×47h		<table><tr><td>室温×3 d</td><td></td></tr><tr><td>100℃×70h</td><td></td></tr><tr><td>150℃×70h</td><td></td></tr><tr><td>150℃×70h</td><td></td></tr><tr><td>250℃×47h</td><td></td></tr></table>	室温×3 d		100℃×70h		150℃×70h		150℃×70h		250℃×47h	
室温×3 d																									
100℃×70h																									
150℃×70h																									
250℃×47h																									
室温×3 d																									
100℃×70h																									
150℃×70h																									
150℃×70h																									
250℃×47h																									