

氏 名	あお やぎ こう し ろう 青 栴 幸 四 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 59 年 9 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 35 年 3 月 東北大学工学部機械工学科卒業
学位論文題目	角鋼および棒鋼の熱間大圧下圧延法に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 高橋 裕男      東北大学教授 田中英八郎 東北大学教授 島田 平八

## 論 文 内 容 要 旨

角鋼や棒鋼の熱間圧延は、多数の孔型ロールを連ねた連続多パス圧延によって通常行なわれるが、1パス当りの断面減少比（延伸比も同義）を増大できれば、パス回数の減少が可能となり、圧延機台数を削減できるほか、材料加熱、その他に要するエネルギーの低減も期待できる。

しかるに、通常の圧延は摩擦角規制の、すなわち、接触角をかみ込み限界角以内に設定する圧延であるため、延伸比を大幅に増大させようとする、ロール径は必然的に大きくなり、荷重やトルクの著しい増大を招く。

そこで、本研究では、ロール径は小さいままで大延伸比を達成するため、圧延のさいに材料後方から押込力を加えることによって圧延中の接触角を摩擦角以上にまで増大して行なう圧延法に注目した。そして、これを「大圧下圧延法」と名付け、本法を角鋼や棒鋼の熱間孔型圧延に適用して、その工業的実現をはかることを終局の目標とした。

この、摩擦角以上の接触角で圧延を行なうという発想は、必ずしも新しいものではないが、平ロール圧延においてさえ、ほとんど追究されることなく、今日に至っており、したがって、本圧延技術開発のための基礎資料もまったく不十分であった。

そこで、本研究では、本法に関する基礎的研究から出発することとし、まず、プラスチックを用いたモデル実験によって本法による孔型圧延における材料の変形や加工力についての基礎的知見を得た。そして、これらをもとに炭素鋼（0.10～0.30% C）の熱間圧延について実験条件を定め、

生産規模に近い大型の実験機を用いて圧延実験を行ない、かみ込みや通過の条件から、さらには、圧延荷重やトルクについて実生産にほぼそのまま役立つデータを求めた。そして、これらの実験的研究によって本法の工業的実現の可能性を実証することができた。

以下、その主要な結論について述べる。

## 第 1 章 序 論

本章においては、従来の研究の状況および本研究の目的と意義について述べ、本研究の位置づけを明らかにしている。

すなわち、大圧下圧延の成立条件について、まず、平ロール圧延を対象に E. Orowan の圧延理論を用いて検討を加え、圧延中の接触角が摩擦角を越える場合でも、押込力を材料の後方から加えることによって、定常圧延は原理的に確保されることを示した。

また、大圧下圧延法は、押込力をかみ込み完了後も引き続き加えるか、あるいは、ゼロに戻すかによって二つの方式に分類されるが、本研究では前者を「大圧下圧延法」Ⅰ、後者を「大圧下圧延法」Ⅱと名付けた。

## 第 2 章 大圧下圧延における材料の変形特性

本章では、孔型圧延における幅方向の変形におよぼすロール径、孔型形状、および押込力などの影響をプラスチックモデル実験によって詳細に調べ、まず、材料変形の点からみて、現状の延伸比の水準を大幅に上まわる延伸比の達成が可能かどうかの確認とそのときのロール径や孔型形状に関する条件を検討し、以下の結論を得た。

- (1) かみ込み限界角を無視してロールを小径化していくと、幅広がり通常圧延では認められないほど小さくなり延伸比は著しく増大する。
- (2) この場合、孔型方式によっては材料の自由側面が凹型となり、後続パスにおいて圧延きずを生じる原因となるので、Diamond～Square 系のような、ロールと材料の接触が孔型中央部から開始して変形の始まる孔型方式を選定することが重要となる。
- (3) 圧延のさいに材料の後方から加える押込力は幅広がりを増加させるため、延伸比の増大には逆効果となる。したがって、押込力の付加を大圧下圧延の遂行のために必要な最小限の水準にとどめることが肝要となるが、ロールの小径化と適正な孔型方式の選定によって、1パス当りの延伸比を 2.0 以上にまで増大させることが可能となる。

## 第 3 章 大圧下圧延におけるかみ込み条件と通過条件

前章のプラスチックモデル実験における材料変形の点から定まったロール径や孔型に関する条件のもとで、炭素鋼の大圧下圧延の遂行が可能かどうかを確かめるために、本章では Diamond～Square 系の孔型方式を選び、押込力を加えたときのかみ込み性と通過特性を炭素鋼(0.10～0.30% C)の熱間圧延実験によって調べた。結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 圧延材の熱間変形抵抗の約 10% の押込力を付加することによって、ロール材質や材料温度など

にほとんど関係なく、かみ込み限界角は摩擦角の約2倍にまで拡大される。

- (2) かみ込み完了後も継続して同じ押込力を加えることによって、圧延中の接触角を摩擦角の1.7倍～2.0倍に保つことができ、1パス当りの延伸比を2.5倍以上にまで増大させることができる（「大圧下圧延法」Ⅰ）。
- (3) また、かみ込み完了後押込力をゼロに戻した場合でも、摩擦角の1.4倍～1.7倍の接触角が確保され、最大2.0程度の延伸比が達成される（「大圧下圧延法」Ⅱ）。
- (4) 工業的に生産性を上げるためには連続圧延を行なうことが必要であるが、大圧下圧延を連続して行なうと、押込力の反作用として、前段パスのロール出口では前方圧縮力が作用するようになる。しかし、そのような場合でも、前方圧縮力が材料の熱間変形抵抗の約10%程度であれば、定常圧延が阻害されることはない。

このように、わずかな押込力を材料後方から加えることによって、大圧下圧延は可能となるが、このことは、設備的には簡単な押込み装置ですむことを意味し、本法の工業的実現をきわめて有意義にする。

#### 第4章 圧延荷重、トルクおよび連続圧延特性

本章では、大圧下圧延の特徴となる小径ロール、あるいは、押込力の付加が圧延荷重やトルクにおよぼす影響を、同じくDiamond～Square系の孔型方式を代表例として選び、3スタンドの熱間連続圧延機などを用いた炭素鋼の熱間圧延実験によって検討した。また、ロール面圧力および材料内部の圧延方向応力などの基礎特性の検討はプラスチックモデル実験によって行なった。得られた結論は次のとおりである。

- (1) 小径のロールを用いると延伸比を大幅に増大させても、通常圧延で見られるような荷重やトルクの著しい増大は生じず、しかも圧延荷重係数も通常圧延に比べて低くなる。
- (2) 上記の理由の一つは、第2章で述べた小径ロールで大延伸比をとると幅広がりきわめて少ないという特性のためであり、もう一つは、材料内部の圧延方向応力が引張り側に移行し、そのためロール面圧力が低くなるという特性のためである。
- (3) 連続大圧下圧延中に、後方圧縮力が作用するとトルクはほとんど変化しないが圧延荷重が増加し、また前方圧縮力が作用すると圧延荷重はほとんど変化しないがトルクが増加する。

しかし、これらの圧延荷重やトルクの増加量は数パーセントで済み本章の(1)で述べた「大圧下圧延法」の基本的な圧延荷重特性は変わらず、大延伸比をとっても著しい圧延荷重の増大はなく、圧延機構の巨大化をさけることができる。

- (4) 前・後方圧縮力が材料の変形や圧延荷重におよぼす影響を考慮に入れた幅広がり係数、圧延荷重係数およびトルクアーム係数の数式モデルを作成した。これらは大圧下圧延法を実生産ミルに適用した場合のパス・スケジュールや圧延荷重、トルクなどの基本諸元の検討に役立つ。

#### 第5章 大圧下圧延の圧延荷重および連続圧延特性に関する解析的研究

本章においては、斉藤（塑性と加工、11-117(1970)、736）が平ロール圧延を前提にしてピー

ニング現象を解析した研究に基づいて、孔型ロールを用いて角鋼などの大圧下圧延を行なう場合の圧延荷重式およびトルク式を解析的に導いた。また、これらの理論式を用いて、大圧下圧延を連続化したときの影響係数を導出し、製品の寸法変動におよぼす諸因子の影響などを予測できることを例示した。主要な結果を以下に示す。

- (1) ピーニング現象を考慮して解析的に導いた圧延荷重係数およびトルクアーム係数の各理論式による計算値は、ロール間隙比が0.75～1.75の実用範囲において実験値と良い一致を示す。
- (2) 2スタンド連続で大圧下圧延を行なう場合（「大圧下圧延法」Ⅰ）を例に、影響係数を算出して、製品寸法変動におよぼす諸因子の影響を検討した。すなわち各パスの出口高さは、当該パスのロール隙を変更しない限り、ほとんど変わらないが、出口幅は前段パスのロール隙を変えると変化する。また、このときスタンド間圧縮力も変化し、後段パスの出口幅に影響をおよぼす。  
このように、出口幅は上記のロール隙のほかにもロール径、ロール回転数など種々の因子の影響を受けるので、適正な条件設定が重要となる。

## 第6章 「大圧下圧延法」を適用したビレットミル

本章では、第4章でのべた各数式モデルを用いて本法を実生産ミルに適用した場合のミルイメージを検討し、その特徴を調べた。結果を要約すると次の通りである。

- (1) 本法を連続鋳造で製造した一辺が250mmの角断面から、一辺が122mmの角断面に圧延するビレットミルに適用すると、通常圧延では7パス前後、すなわち、7台前後の圧延機数を必要とする圧延工程が、3～4パスの圧延工程に短縮され、圧延機台数も半減する。
- (2) このとき、また、本法の適用によって圧延動力も減少する。すなわち、第2章で述べた、ロール小径化によって幅広がり減少し延伸効率が高くなる効果と、第4章で述べた圧延荷重係数が低くなる効果によって、通常圧延法に比べて相対的に高い塑性変形効率が達成される。上記のビレットミルの例では、「大圧下圧延法」Ⅱのパス・スケジュールによって、これは実現される。
- (3) また、大圧下圧延を工業的に成立させるためには、ロール材質の選定が重要となる。すなわち、従来から、ビレットミルで使用されてきた鋳鋼系ロールでは、熱き裂部に盛り上がりが生じ、製品にきずが生じる。しかし、ダクタイル鋳鉄系のロールを用いることによって、この問題を解消することができ、きずのない良好な製品を得ることができる。

## 第7章 総 括

本章は、これまでの研究結果の結論である。本研究によって、「大圧下圧延法」における材料変形、かみ込みと通過、ならびに圧延荷重やトルクに関する諸特性が始めて詳細に解明され、さらに「本法」に適したロール材質なども見い出され、工業的実現の可能性が立証された。これらの知見は、今後の省資源、省エネルギーをめざす新しい圧延プロセスの発展に役立つものと考えられる。

## 審 査 結 果 の 要 旨

金属材料を圧延するさい、材料の後方から押込力を加えてロールに噛込めると、従来の圧延法では達成できないような大きな圧延率での圧延が可能となる。著者はこうして行う圧延法を大圧下圧延法と呼び、これを角鋼および棒鋼の熱間穴型圧延に適用し、基礎から応用に至る系統的な実験によってこの圧延法の工業的実現の可能性を立証した。本論文は、この間の経緯をまとめたもので全編7章より成る。

第1章は序論であり、この研究の目的と意義を述べている。

第2章ではプラスチックを素材々料としたモデル実験の結果について述べている。押込力は圧延率の増大に顕著な効果をもつ反面、幅広がりを増大する不利を招くが、ロール径を小さくすることによって幅広がりを著しく減少できる。また、穴型圧延のさいの圧延疵の原因となる自由側面の凹形変形はDiamond-Square系のように、ロールと材料との接触が穴型の中央部から始まる形式の穴型を選ぶことによって避けることができる、などの基礎的知見を得ている。

第3章では前章で得られた知見をふまえて生産規模の実験圧延機によって炭素鋼の熱間圧延実験を、広範な条件範囲にわたって行った結果について述べており、素材々料の変形抵抗のたかだか10%程度に相当する押込力の付加によって通常圧延で可能な値の2~2.5倍という大きな圧延率で健全品を圧延できることを確認している。

第4章では圧延荷重およびトルクに関する熱間圧延実験の結果について述べている。小径のロールを用いた大圧下圧延では通常圧延の場合と異なり、圧延率が大きくなっても荷重およびトルクはあまり増大しないことを見出し、それが圧延時、材料内に圧延方向引張応力が誘起されるためであることをモデル実験における内部応力の巧妙な測定によって明らかにしている。これらは重要な知見である。また、生産の実際においては連続圧延が行われることを考慮し、3連の実験用連続圧延機を用いて連続圧延のさいの諸特性についても検討している。

第5章では圧延荷重およびトルクの計算式を、矩形換算法を用い、ピーニング現象をとり込んで理論的に誘導し、それらが実験と良く合う結果を与えることを確認している。

第6章では以上の知見をもとに、本圧延法を250mm角の連続鑄造鑄片から122mm角の角鋼への穴型圧延に適用した場合を試算し、従来の圧延法に比べて圧延機台数は半分ですみ、圧延動力も少なくすむことを示している。

第7章は総括である。

以上要するに本論文は、モデル実験および実物実験によって鋼材の穴型圧延に多くの新しい知見を加え、わずかの押込力の付加によって従来の2倍以上に達する圧延率での圧延を、しかも少ない動力で達成できることを立証したもので、金属工学とくに金属加工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。