

報告番号 ※ 乙 第 3149 号

# 主論文の要旨

題名

『継目無鋼管の品質向上に  
関する塑性加工学的研究』

氏名 三 原 豊

# 主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 三原 豊

19世紀後半、スチームボイラーの開発と普及につれ、それまで使用されていた鍛接管では溶接の信頼性が薄く、溶接部のない継目無鋼管に対する憧れと、要求が高まっていた。そういった時代にあつて、1885年マンネスマン兄弟によりマンネスマン穿孔法が発明されたが、発明された当初、使用する素材が劣悪であったり、工具材料として良いものが無かった為、穿孔後の肉厚精度が悪く、またきずの発生が大きな問題であった。爾来、継目無鋼管発展の歴史において、「きず」と「肉厚精度」の問題は、マンネスマン穿孔法の存立をかけた闘いであつたと言つて過言では無い。素材の良くなった現在においても、品質に対してはさらにグレードの高い要求を突き付けられ、約100年前と同様の問題を抱えている。

例えば、管が曲げやバルジ加工のごとき2次加工を受ける場合、管に偏肉があれば加工時の変形は不均一になり形状精度は低いものとなる。また、これまで、継目無鋼管には溶接部が無いため信頼性が高いとの理由で、形状精度には甘い点が有つた。しかし、最近では溶接管の溶接部の信頼性も格段に向上し、継目無鋼管に対する強力な競争相手となり、形状精度においても溶接管の持つ精度との競争を強いられている。これらの理由により、継目無鋼管に要求される形状精度も高いものとなってきた。しかし、形状精度に対しては、これまで現場的技術で対処されてきており、穿孔からの全製管工程を一貫して検討した研究はなされてこなかった。

他方、第2次石油ショック以来、石油採掘条件は苛酷化しており、これに用いられる鋼管に対しても厳しい要求が出されるようになった。これらの要求を満たす為には、高Cr、高Niの高合金管が必要となるが、高合金管をマンネスマン方式で製造する場合、きずの発生が大きな問題となる。しかし、高合金管製造時に発生するきずについて、系統的に研究された結果は発表されていない。

この論文は、継目無鋼管の品質向上を目的とし、第I編においては形状精度を取り上げ、継目無鋼管の代表的なプロセスであるマンネスマン穿孔-マンドレル圧延プロセスについて、穿孔、圧延プロセスにおける形状精度上の問題点と対策を検討した。第II編においてはきずの発生について、高合金管の製造を中心に、製品において致命的なきずとなるマンネスマン穿孔時に発生するきずの発生機構と防止法を検討し、その穿孔限界を追及した。また、押出し管製造において、最近要求の増したクラッド鋼管、高合金鋼を押し出すさいに発生するきずにつき、その発生を解析的に予測することを試みた。

# 主論文の要旨

報告番号

※第  
2

号

氏名

三原

豊

本論文は2編、8章からなっている。

第1章は「緒言」であり、本研究の背景、目的および概要を述べている。

第1編 継目無鋼管の形状精度

第2章「マンネスマン穿孔における形状精度」

マンネスマン穿孔において、形状精度の上で一番問題となるのは、断面内に発生する偏芯性偏肉である。この偏肉発生要因を分析し、これら要因の偏肉発生に及ぼす影響度を定量的に把握し、この発生を抑制する方策を呈示する事が出来た。特に、偏肉発生を積極的に抑制するレデュースングロールについては、その効果を明確にするとともに、穿孔特性をも調査し、通常の穿孔法と変わりなく使用出来る事を示した。

第3章「3ロールエロンゲータ圧延における形状精度」

肉厚精度、表面性状の上で優秀な性能を有するアッセルミルをエロンゲータとして利用する事は、近年の製品に求められる厳しい性能を満足させる有力な手段であるが、このミルには薄肉側で致命的な欠陥～管後端部に発生するフレアと、偏肉精度の悪化～が有るため、エロンゲータとして用いられなかった。これら欠点の解決策を検討し、マンドレルバーを圧延中に引き出すパーリトラクト方式が有効である事を見いだすと共に、この圧延特性を明らかにし、パーリトラクト方式がエロンゲータ圧延に使用出来ることを確かめ他。その結果、当方式を生産ラインに適用することが出来た。

第4章「マンドレル圧延における肉厚精度」

マンドレル圧延は多スタンド連続圧延の複雑な挙動を示すと共に、単スタンド圧延においてもその圧延変形は3次元となり、複雑な変形挙動を示す。そのため、肉厚精度に関連した種々の複雑な現象が経験的に知られていたが、これらを十分に解析することも出来ない状況にあった。そこで、単スタンド圧延における変形特性と連続圧延特性を把握するため、単スタンド圧延特性を鉛圧延実験と3次元圧延理論解析により明らかにし、連続圧延特性を静的及び動的理論解析により明らかにした。この結果、マンドレル圧延における単スタンド圧延の基礎から、多スタンド連続圧延の応用解析まで可能となり、これ迄、その原因が不明であった現象の解明、原因は定性的に解っていても定量化が出来ず制御が十分に行えなかった現象の解析、ミルの相異による利害得失の評価、マンドレル圧延において採るべき制御方式の構築等、多くの問題解決が可能となった。この結果は、新規ミルの方式決定、生産ミルでの問題解決に利用され、

# 主論文の要旨

報告番号

※第  
2

号

氏名

三原 豊

多くの成果を上げることが出来た。

## 第5章「ストレッチレデューサ圧延における形状精度」

ストレッチレデューサ圧延においては、2つの大きな課題がある。管後端部の厚肉化と、断面内肉厚の不均一～内面角張り～の問題である。前者については多くの研究もあり、ほぼ解決されたと言っても過言ではない。これに対し、内角張り発生については、これまで、実験的、理論的に定性的な現象の解明が試みられてはいるが、定量的なものではなく、理論解析も外圧円筒的な取り扱いはしたものが有るのみで、圧延における現象をシミュレート出来るものではなかった。ここでは、角張りを定量的に求める基礎となる、単スタンド圧延において発生する角張りを鉛圧延実験、剛塑性有限要素法を用いた解析により詳細に検討した。その結果、単スタンド圧延における断面内角張りを定量的に求める事が可能となり、カリバー設計、圧延条件の設定に指針を与えることが出来た。

## 第Ⅱ編「継目無鋼管のきずとその発生の防止」

### 第6章「マンネスマン穿孔において発生するきず」

マンネスマンプロセスにおいて致命的なきずは、主に加工が一番過酷で、素材の加工性も悪い穿孔段階において発生する。そこで、最近、特に要望の強いステンレス、高合金に関し、穿孔時に発生するきずを実験的に解析し、その発生防止について検討すると共に、穿孔可能限界を調査した。

穿孔時に発生するきずは、大別して、プラグに当たるまでの回転鍛造部で発生するきずと、圧延部において発生するきず、プラグ、ガイドシューなど工具との焼き付きにより生じるきずに分類される。回転鍛造効果によるきず発生の防止条件をつかむため、穿孔時のきず発生モデルを作成した。これによると、きず発生は、ロール送り角、ロール面角を大きく取ること、穿孔中の前進効率を上げることにより、軽減出来ることが導かれ、実験においてもこのことが確認された。また、高合金化が進み、変形抵抗の高い52Ni-25Crでは、内部割れ以前に外周近辺に割れが発生する事を見いだした。これは、回転鍛造において変形抵抗の低い材料は、半径方向中心部の相当塑性歪が大きくなるのに対し、変形抵抗の高い材料では、外面近傍の相当塑性歪が大きくなる為で有る。

圧延部において発生するきずの特徴は、肉厚中心部のラミネーション割れである。これは、高合金化と共に変形抵抗が高くなり、加工発熱が大きくなるた

# 主論文の要旨

報告番号

※ 第  
乙

号

氏名

三原 豊

めで、計算によっても肉厚中心近傍に高温部が現れ、素材の高温ゼロ延性温度に達する可能性の有ることが確認出来た。この発生を防止するには、肉厚方向温度分布を均一化し、プラグによる奪熱を大きくするなどの工夫により、低温穿孔をすることが重要である。

工具について、これまで炭素鋼の穿孔に用いられてきた工具は、高温強度、焼き付き性の点から、高合金、ステンレスの穿孔にはそのままでは適用出来ないことがわかった。プラグでは、変形抵抗の大きな素材を穿孔するため、高温強度が不足すること、また、潤滑材、断熱層として働きの大きい表面酸化膜層が、高合金、ステンレス穿孔中には形成されず、焼き付きを起こすし易く、プラグ損傷を受けやすい事などが確かめられた。これらの点を解決するプラグとして、モリブデン合金が有望である事が確かめられた。ディスクシュウにおいて、従来よりシュウ材料として用いられてきたCr系材料では、高合金などとの焼き付き性が高く、浸硫窒化等の表面処理が必要なことが分かった。これらの結果より条件さえ適当に選定出来れば 22Cr-42Ni までの高合金をきず無く穿孔出来る事が分かった。

## 第7章「押し出しにおけるきず発生にたいする解析的考察」

高合金の加工に有利とされる熱間押し出しについて解析した。高合金化が進み、以前にも増して加工性の劣悪な素材の押し出し、クラッド材の押し出しが要求され、これらの素材の押し出しにおいて、しばしばきずの発生が問題となっている。そこで、押し出し時のきず発生予測を目的として、剛塑性有限要素法により押し出し解析を行い、この結果と3次元応力場の破壊条件式（小坂田提案の式）より押し出し時のきず発生の可能性を検討した。その結果、工具と素材間の潤滑、ダイス形状、直接押し出しと間接押し出しのきず発生に及ぼす影響を明らかに出来た。

第8章は「結言」である。