

によることを明らかにした。次いで縦割れの発生原因が Si-Mn 鋼で検証され、不均一凝固、急速冷却による熱応力によることも示され、電極攪拌や緩冷却による防止等の有効性が報告された。矯正歪みで発生しやすい横割れは、小型鋳塊曲げ試験で再現し得ることを示し、脆化温度域と、割れ限界歪みの決定をもとに、矯正温度が脆化域とならないように操業条件が決められることも述べた。これに対し、熱応力解析と実際の割れ発生状況との関連、C量と表層下割れとの関係、不均一凝固に関連する問題、冷却条件の影響について詳しい質問と討論が行われた。

### III. 継目無鋼管の製造技術の動向

座 長 住友金属工業(株)鋼管製造所

高 井 岩 男

従来より圧延の塑性解析は、フラットローリングについては詳細に行われてきたが、管の圧延のごときカリバローリングについてはやや遅れた感があつた。しかしここ数年は後者に対しても積極的アプローチが行われモデルミルの設置、実機における技術改善等顕著な進歩がみられている。当然ながら、これらの高度な理論解析を支えているのは、エレクトロニクスの発達であり、センサーの進歩である。

一方鋼管需要は、2回のオイルショック以降、世界的な石油掘削ブームに伴い、油井管を中心に飛躍的に伸びてきた。現在は一時停滞してはいるものの、エネルギー関連需要の多い鋼管は、波こそあれ今後も着実に伸びることが予想される。従つて、鋼管製造技術もより高度な開発が要求され続けるのは当然のことと言える。

今回の討論会では、汎用性のあるプラグミル製管法に関して、工具も含めた圧延技術の解析への CAD/CAM の導入 (討 14)、および全ラインの自動システム (討 17) の紹介がなされた。また、従来は比較的小径管を高効率、高品質、高歩留りで製造する設備として導入されたマンドレルミルも、マンドレルバーの速度を積極的に制御することにより適用寸法範囲がますます拡大され、継目無鋼管製造設備の主力になりつつあり、これらの解析 (討 15) と制御 (討 16) が紹介された。

討14 継目無鋼管用ロール・工具のための対話型計算機援助設計加工システム

新日本製鉄(株)八幡製鉄所 田中 俊雄

継目無鋼管製造の死命を制するとまで言われる圧延用ロール、プラグ、ガイドシューの設計には従来から多くの労力が費やされてきたが、図形処理機能を有する対話型コンピュータシステムを導入することにより、正確かつ効率的な設計が行われるようになったことが報告された。これによると、圧延ロールやプラグミルプラグ、リラープラグの設計は計算プログラムと図形処理ソフト

を用いて行われ、従来精度の低い近似解法を用いざるをえなかつた傾斜ロール圧延の Geometrical Pass Design も高精度で行われる。このシステムにおける工具設計の特徴は、対話型の CAD/CAM スタイルを用いることにより、圧延諸データの算出、CRT 上での形状変更を経て、自動製図機による出図や自動加工用データの出力がほぼリアルタイムに行える点にある。さらに本システムには三次元座標測定機が直結されており、圧延後のパイプやロール、工具類の自動形状測定が可能である。これらに図形処理ソフトを組み合わせることにより、使用工具の圧延状態の再現や圧延解析、設計モデルへのフィードバックも可能である。

以上の発表に対し、本システムへの投資便益について質問があり、これには工具の最適設計に関する省力化以外に、八幡新鋭工場の立ち上がり時の問題解決を早めたこと等多大の効果を発揮した点で評価されたと回答がなされた。さらに、傾斜ロール圧延では同一外径でもパイプの肉厚によつて変形状態が異なるので、そのことへの応用について質問がなされたが、これに対しては、圧延材および使用後の工具を三次元座標測定機で形状解析することによりパイプの変形に応じた工具形状を求め、設計に反映しているとの回答があつた。

討15 マンドレル圧延の塑性理論解析

日本鋼管(株)技術研究所 平川 智之

変形状態の解析、特にロールともバーとも接触しない自由変形部の解析を重要視した系統的なマンドレル圧延の理論解析が紹介された。これは、Levy-Mises の塑性流れ、Mises の降伏条件、クーロン摩擦あるいは付着摩擦の仮定のもとに、釣合方程式、ひずみ-変位増分式を差分化し、圧延荷重、トルク、先進率ばかりでなく、圧延方向・周方向の面圧分布、中立線分布、塑性変形量等を求めるために、三次元異周速解析モデルを作成して解析を行つたものである。計算の途中では、パイプがバーとロールの両方に接触する圧延部、ロールのみに接触する外圧部、ロールともバーとも接触しないフランジ部 (自由変形部) の3領域を考え、各領域で解析方法を変えている。

これに対して、素管が真円でないため計算プロセス中メッシュによつて各領域の境界が変わることが考えられるので、その場合の対応方法について質問があつたが、各領域の境界は計算の初期で行われるロールギャップ解析によりあらかじめ判断されるので問題ない、との回答があつた。また、この解析におけるメッシュの大きさの影響、出側形状の計算値の妥当性、計算所要時間について質問があり、メッシュの大きさの影響は非常に小さいこと、出側形状の計算値は実測値に極めて近いこと、計算所要時間は IBM 370/158 3 型 AP 4 MB を用いて 40s 以内であることが示された。さらに、応力の円周方向分布について活発な討論がなされたが、軸方向圧縮力が最

大となる位置は溝底ではないかという質問に対しては、溝底より 45° の方向であるという回答がなされ、統一した見解は得られなかつた。

#### 討16 マンドレルミルの計算機制御

住友金属工業(株)中央技術研究所 山田 建夫

フルフロートマンドレルミルを対象として、過渡現象(噛み込み、尻抜け)の解析方法および解析結果が示され、圧延材の長手方向寸法変動が論じられた。続いて、その寸法変動を均一化するための制御方法および計算機制御の実施例が示された。過渡現象の解析は、既報のストレッチレデューサーの管端厚肉化現象の解析に用いた方法、三次元塑性解析モデルを用いたものである。解析結果として、過渡現象ではマンドレルバーの速度に階段状の変動が生じること、噛み込み時には No. 1~2 スタンド間に圧縮力が生じること、尻抜け時の圧縮力は噛み込み時よりも大きくかつ生じる範囲が広いこと、管後端の方が増肉が大きいこと、スタンド間に圧縮力を与えた方が管後端の増肉が相対的に抑制されることが示された。また、過渡現象における回転数制御法としては、従来よりスタンド間張力の変動を防止するような制御が考えられていたが、より簡単な方法として、仕上げスタンドの荷重変動により長手方向の肉厚分布を予測し、それをキャンセルするように回転数のダイナミックコントロールを行う方法が紹介された。

これに対して、セミフロート方式の場合と回転数制御で対処する場合の効果の差について質問があり、長手方向肉厚分布の均一化に関する限りは同程度の効果が得られる、との回答があつた。続いて解析の具体的方法について種々の質問があり、その回答として、圧縮力による座屈、自由変形部での外径変化、異周速圧延の影響は考慮していないことが示された。次に、リテインドマンドレルミルとフルフロートマンドレルミルの比較について若干の議論がなされた。さらに、計算機制御の実施例についての質問に対して、管端部の未制部の影響は実用上無視できること、バーはレーザーを使用して 0.05 mm 程度の精度で外径が測定されながらピーストラッキングされていること、仕上げスタンドの荷重により肉厚のフィードバックが行われていることなどが回答された。最後に、潤滑剤の種類による摩擦係数の違い、発表中に示された各データの採取方法について質問があり、回答がなされた。

#### 討17 中径継目無鋼管圧延の自動制御システム

川崎製鉄(株)技術研究所 富樫 房夫

マンネスマン・プラグミル方式の中径継目無鋼管製造ラインに全圧延機の自動制御システムを導入することにより、製品寸法精度、歩留り、生産性向上、さらに省エネルギーにも大きな効果をもたらしたことが報告された。ピアサーおよびエロンゲータでは、ロット替わり、圧延ピッチの変動に対してミル設定値が自動的に変化

し、精度の高い素管が得られている。プラグミルは最終製品管材の長さや厚さがほぼ決定されるミルであるので、ロールギャップ修正を対象に種々の精度向上が図られている。リーラーは初期設定の他に、モーター圧延トルクから実績肉厚圧下量を予測し、これを一定とするダイナミック制御が行われ、管長手方向に均一な外径のパイプが得られるようになっていく。サイザーは熱間の目標仕上げ外径を圧延温度から1本ごとに設定し、各スタンドの影響係数を自己学習する機能になっており、外径目標値への収束性が非常に良いことが示された。

これに対して、各種センサーについて、その必要度や効果について質問があり、平均肉厚算出のために、測長計、外径計、ミルスプリングバック補正のための荷重計等が重要であることが回答された。また、リーラー出口側に設置されている熱間肉厚測定機については高い関心が示され、その精度や役割について質問があつた。その回答として、精度は 0.1 mm であり、熱間ラインでの偏肉状況の把握と、これへの対応が図られていることが述べられた。さらに、実操業上へのマニュアル介入や制御言語、さらに学習制御上のフィードバック方式に対する議論も行われた。

このシステムの考え方は、マンドレルミル製管法にも適用可能であり、高く評価できる。

以上のように、圧延の塑性解析の分野で出遅れていた感があつたカリバーローリングも、非常に高い水準の解析が可能になってきた。将来の製品に対するユーザーの要求としては、今後さらに高寸法精度、高強度、高耐食性の高合金鋼等が考えられるが、これらの問題も積極的に解決していく研究が進められるであろう。

## IV. 鋼の腐食の確率論的評価

座長 東京大学生産技術研究所

増子 昇

孔食やすき間腐食などの局部腐食現象や鋼材の環境強度に対する確率論的評価に関しては、我が国の研究が世界に先駆けて進展しており、ここ 30 年位の間にその応用例が目覚しく充実してきている。柴田教授(阪大・T)、石川氏(日立・機械研)を始めとする、この方面の有力な研究者が一堂に会することで、現在の到達点を確認し、将来の飛躍のための足場を築くことのねらいがほぼ達成された。

討論論文の発表者は以下の 7 氏である。

- |     |                  |      |
|-----|------------------|------|
| 討18 | 石川島播磨重工業(株)技術研究所 | 明石正恒 |
| 討19 | 東京芝浦電気(株)重電技術研究所 | 服部和治 |
| 討20 | 日本鋼管(株)技術研究所     | 木田正春 |
| 討21 | 新日本製鉄(株)基礎研究所    | 伊藤 徹 |
| 討22 | 大阪大学工学部          | 柴田俊夫 |
| 討23 | (株)日立製作所機械研究所    | 石川雄一 |
| 討24 | 東京大学工学部          | 辻川茂男 |