

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 栗山 幸久

本研究の背景と特徴は概略以下の通りである。

従来の電縫管に関する研究は、その製造のための要素技術である成形・溶接・矯正に関する検討がばらばらに行なわれ、一貫した視点に立ったものではなかった。例えば、電縫溶接に関する研究は、溶接温度の監視による入熱制御に関するものが殆どであり、エッジ(素板の両縁部)の接近速度と溶融後退速度のバランスする状態が最も溶接欠陥が少ないことが示されたものの、成形との関連は明確にされていなかった。また、ブレイクダウン、ケージ、フィンパスなど個別の成形過程に関する研究は種々行われてきたが、どの成形をどの過程でどの程度で行うのが電縫管の品質向上のために適切であるかなどの検討はなされていなかった。さらに、振れなど操業上の大きな問題も実験室的な検討が難しいことから、本格的な検討がなされていなかった。

本研究は、成形・溶接・矯正という電縫管製造の各過程を一貫した視点で捉えて、従来明らかにされていなかった課題を明確にし、生産性の観点からの検討も加え、その対応策を提示して設備化・操業技術化を実現した点に特徴がある。

以下、本研究の成果について説明する。

まず、電縫管の成形技術に関しては、溶接部突合せ形状を適正化する上でのエッジ成形の重要性を明らかにし、エッジ成形をブレイクダウン、中間(ケージ)、フィンパス過程のどこで行えば良いかを検討し、ブレイクダウン過程でエッジ成形を重点的に行うことにより、エッジ増肉を抑制し電縫溶接に適した突合せ形状が得られること、後段での絞りを低減し低歪成形が可能となることなどを系統的に示した。

また、肉厚／外径比 1～12%という薄肉材から厚肉材まで、適切なエッジ成形が行える成形方式について検討を進め、新しいエッジ成形方式である W ベンド成形方式が、厚肉材のエッジ成形のみならず、薄肉材成形時のエッジ座屈防止に効果があることを明らかにし、併せて、W ベンド成形適用のための技術を体系化した。この W ベンド成形方式の高度化により、従来 肉厚／外径比 2～8%であった成形範囲を 1～12%に拡大し、成形精度も向上することに成功した。

次に、ロール共用化技術の開発を進め、肉厚／外径比 1～12%、外径共用範囲 3.5 倍をカバーできる共用性のあるケージ成形方式について検討し、従来のフルケージ成形方式が外径が変わっても変形は相似であるとの仮定に基づいているのに対して、ケージ内の変形をエネルギー法により解析し、肉厚／外径比 1～12%、外径共用範囲 3.5 倍の共用性を考えると変形形状は相似と見做せないことを初めて明らかにした。それらの結果をふまえて、目標とする共用性を満足できる設定自由度の高いケージ成形機および成形方式を開発した。

また、空間的な位置・ロールの傾きなど自由度の高いケージロールの設定方法は、従来示されていなかったが、ケージロールの包絡面で変形曲面を近似できることを見出し、変形曲面に接するようにケージロールを設定する新たな方式を考案し、ケージロールが管径の 2 倍程度と密に配置されていれば、この方法で十分な製品精度を実現し得るロール設定ができることを示した。

次に、成形溶接の一貫した試験を通じ、溶接突合せ形状としては I 型形状が良いが、エッジ増肉があると適正入熱条件からずれて溶接欠陥が増えてしまうため、エッジ増肉を抑えた I 型突合せの確保が必要であることを明らかにし、W ベンド成形＋フィンパス成形の最適化により、増肉を抑えた I 型突合せ形状を確保できる成形方式を開発した。

更に、V 収束角拡大は溶接欠陥の低減に有効ではあるが、アップセットに対する感受性が上がってしまうため、V 収束角の拡大と同時にアップセット変動を低減しなければならないことを初めて明らかにし、アップセット変動の低減のためフィンパスとスクイズのミル剛性をバランスさせると言う新たな概念を導入し、従来±0.5mm あったアップセット変動を±0.1mm に低減することに成功した。

これらの成形・溶接の一貫した研究により溶接欠陥を 0.025%と従来の 1/10 以下へと飛躍的に低減する技術を確立した。

更に、溶接前の素管の振れは、左右の反力差によって生ずることを示し、振れモーメントのモーメントアームを最小にするケージ設定を考案し、溶接前の振れを防止する方法を開発した。また、溶接後の振れをクロスピンチロールにより 0 に制御する方法を考案し、実機化した。これらの振れ対策により、操業が安定したのみならず、溶接ビード切削精度が向上し、母材に近い肉厚を確保

できるようにした。また、溶接シーム部の 2 段熱処理が可能となり溶接部材質を母材と同等にすることを可能とした。

曲がり矯正に関しては、曲がり方向に合わせて繰返し曲げを行うことにより、最小限の歪で曲がり矯正を行う適応型インライン曲がり矯正法を考案し、インライン曲がり計測設備とともに実機化し低歪矯正を実現した。

本研究では、以上検討した W ベンド成形技術、自由度の高いセミケージ成形技術、最適化されたフィンパス成形技術、剛性バランスを取ったスクイズ技術、振れ制御技術、適応型インライン曲がり矯正技術などを統合化し、新しい 16”電縫管ミルに実機化した。このミルの製品即ち電縫管は、溶接欠陥が 0.025%と飛躍的に低減されているため従来シームレス鋼管しか用いられなかった高級油井管・ラインパイプの市場で初めて採用されるという成果を収めた。高精度低歪成形、低歪矯正により、熱処理型シームレス鋼管に比べ、寸法精度が高く、圧潰特性、低温靱性、腐食ガス環境下での耐食性にも優れており、また、低コスト省エネルギー生産であり、石油メジャーからも高い評価を得て新しい電縫管市場を開拓することに成功した。

本研究の成果は、工業的には新しい 16”電縫管ミル、また、高級電縫油井管・ラインパイプとして結実したが、その研究を通じて明らかにされた内容は下記の工学的意義があるものと考えられる。

- 1) 電縫管成形におけるエッジ成形理論の体系化
- 2) 成形と溶接を一体にすることにより溶接欠陥を飛躍的に低減する手法の体系化
- 3) 成形過程における素板の変形挙動の理論解析化、および、兼用ロールの自由度の高い理論的設定方法の提示
- 4) 振れ・曲がり矯正理論の体系化

これらは、いずれも小径から大径までの電縫管に共通する課題に対する工学的・技術的解答を与えるものであり、広く板材の成形技術の向上に資すること大であると評価できる。

以上の成果によって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。