

三工程一体型の カラーリング加工機による 配管加工の効率化

石川 智久

独逸機械貿易(株)

1 はじめに

パイプの押出成形によるアウトレット成形プロセスは、決して新しい概念ではない。一般的に分岐管成形加工と呼ばれている技術である。

本稿では、フィンランドに拠点を持つT-DRILL社が提供するT-DRILL カラーリング加工技術について紹介する。

T-DRILL加工は、穴あけ加工、カラーリング加工（分岐管成形加工、バーリング加工とも呼ばれている）、面取り加工までのプロセス全体が、パイプの外側から単一のワークステーション（1つの装置）に1回のセットアップで行われ、パイプの端部から内部にアクセスする必要がない。操作が容易で、加工性能やコスト効率に優れた枝管加工成形（写真1）の装置は、パイプ製造業界にとって、カラーリングを効率化・省力化する大きな要素となる。

2 機械式に分岐管製作

2.1 一般的な加工工程

まず、一般的によく知られている分岐管成形加工に「玉抜加工」と呼ばれる方法がある。後述する工程をそれぞれの装置に移動させセットアップする必要がある。

- ・穴あけ：下穴加工とも呼ばれとても重要な工程。
- ・分岐管製作工程：一般的に玉抜工法と呼ばれる技術で下穴加工後にパイプ端部からジグ（玉）を挿入し、油圧の装置などで下穴部を引き上げて分岐管を製作。
- ・面取り：パイプ軸に対して垂直かつ、後工程の突合せ溶接に必要な端面加工。

2.2 T-DRILL工法のカラーリング加工

T-DRILL社が提供するモデル「TEC-220」「T-115」「S-56」等（写真2）、成形加工後に突合せ溶接を可能とする装置は、前述の3つの工程「下穴加工・カラーリング

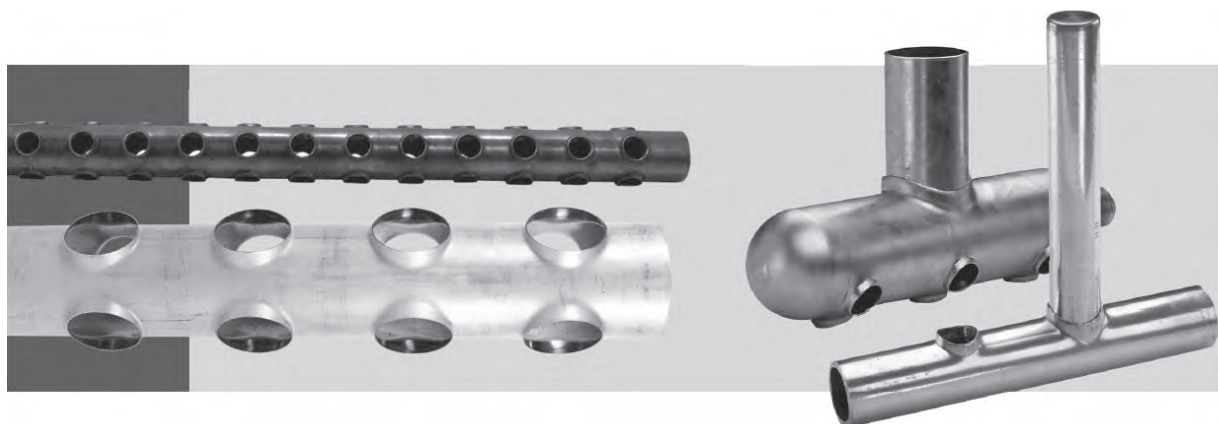


写真1 T-DRILL カラーリング加工（左上：カーボン鋼，左下：ステンレス鋼，右上下：銅・銅合金）



写真2 カラーリング加工機（一例）

加工・面取り加工」を1つの装置で行うことができる。

- ・**下穴加工**：突合せ溶接用を使用するため、下穴形状を楕円形にする必要がある。楕円形状の長直径，短直径を数値での制御のため微調整が容易。（写真3～5）
- ・**カラーリング加工**：いわゆる1つのサイズに必要な玉（ボール金型）を使用せず，フォーミングピンによる加工のため引き抜き径の調整が可能。また，T-DRILL工法（カラーリング加工）においてはパイプ端部からボールを挿入するのではないため，本管に対して同径の分岐管成形加工が可能。（写真6，7）



写真3 エンドミルでの下穴加工開始



写真4 下穴加工切削



写真5 カラーリング加工前の下穴加工完了

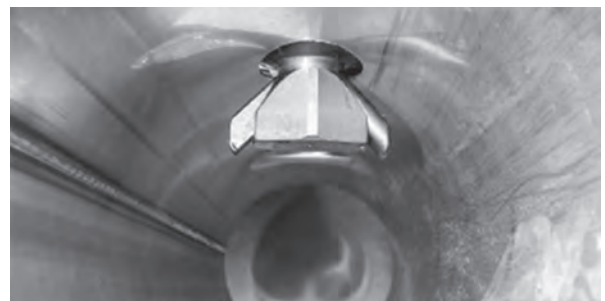


写真6 カラーリングヘッド挿入

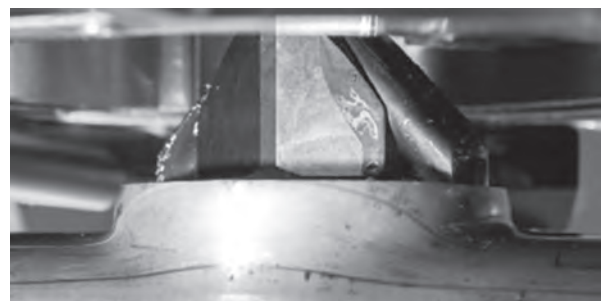


写真7 カラーリングヘッド回転および引き上げ



写真8 面取り加工（任意の高さで加工可能）



写真9 カラーリングの仕上がりの様子

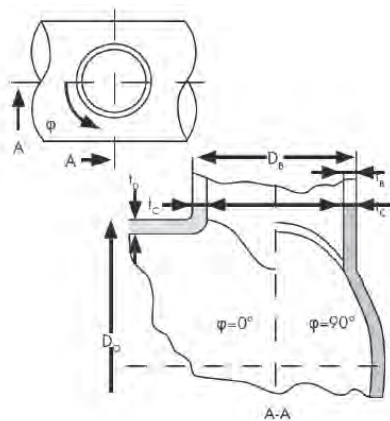


図1 カラーリング加工部の断面および肉厚分布図

・面取り加工：本管面からの枝管突出し高さ、パイプに対する直角度を安定して面取り加工ができる。肉厚があるパイプは、岐管端部に溶接用の開先加工を行うことも可能。（写真8）

2.3 三工程一体型のT-DRILL工法の優位点

上述した各工程の中で、一度セットアップしたパイプを取り外すことなく全工程の加工を行うことができるため、セットアップ時間の削減のほか、第1工程における楕円下穴の中心位置に対し、第2工程の引抜角度、最終加工の面取り角度のずれの心配もなく、機械的にも安定した状態での加工が実現できる。（写真9）

各工程において加工後の寸法の調整も、製作された特定のジグに依存することなく微調整が可能であるため「三工程一体型のカラーリング加工機」は操作性、安定性、生産性に優れた加工技術である。

3 T-DRILL工法の利点

分岐管成形加工に求められる評価基準は、主に以下のような項目があげられる。

- － 強度
- － 流動性

- － 耐食性
- － 経済性
- － 自動溶接・全姿勢溶接・内面溶接の可否
- － 品質保証

ここでのガイドラインについては、sch10までのパイプに適用される。

3.1 強度

分岐管成形（以降、カラー）は、本管の金属を変形させて成形するため、カラー部の肉厚は本管と肉厚よりも薄くなる。この肉厚の減少が分岐接続部の強度にどのような影響を与えるかは、肉厚の分布と荷重分布の関係、および肉厚の減少の程度によって決定される。（図1）

3.1.1 荷重分布

ASME ボイラー・圧力容器規格には次のように記載されている。

「円筒シェルの円形開口部については、シェル軸を含む平面が、圧力による最大荷重を受ける平面である」

詳細な数学的解析によると、管軸に対して直角方向に作用する荷重（スターラップ点 $\phi 90^\circ$ ）は、管軸直方向に作用する荷重（サドル点 $\phi 0^\circ$ ）のわずか30～50%であることが示されている。これは、サドル点における肉厚が十分であれば、スターラップ点における肉厚は50%薄くてもよいことを意味する。

実際には、もっとも厳しいケース（T比1.0）におけるスターラップ点での最大肉厚減少率は30～50%であり、その一方で、肉厚減少率が約5～10%となるサドル点が臨界点となる。

カラーリング部の肉厚分布特性図（図2）の曲線が示すように、任意の位置における実際の肉厚（ t_c ）は、必要最小肉厚（ $t_{\min}$ ）を上回っており、分岐管の肉厚（ t_b ）とほぼ同等か、あるいはそれ以上である。したがって、カラー付分岐開口部の肉厚分布は良好であり、肉厚減少が接続強度に及ぼす影響はごくわずかといえる。

試験によると、カラー付分岐接続部（例：AISI 304）

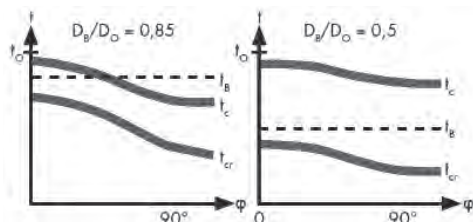


図2 カラーリング部の肉厚分布特性図

の破断圧力は、関連する本管に許容される最大圧力の7.5から8倍に達することを確認している。

カラーリング加工は、わずかな加工硬化が生じる。この影響については比較試験によって検証されており、これらの試験結果はカラー付分岐接続部が交差する配管の溶接接続部と同等以上の強度を持つという、T-DRILL社の長年にわたる実用経験と一致している。

一般的に、カラー付分岐接続部に熱処理を施す必要はない。例えば、オーステナイト系ステンレス鋼のカラー付分岐接続部に対する応力除去熱処理を行う必要があるのは、配管システム内すべての溶接接続部にその処理が要求される場合に限られている。

3.2 流動性

カラー付き分岐管の流動特性は、T継手のそれと類似している場合がある。しかし、ノズル継手と比較するとT-DRILL工法には次のような利点がある。

- ①流路の形状が滑らかで曲線的であり鋭い角部がない
- ②カラーの内部は常に分岐管の内径（ID）に合わせて調整できるため、流体の乱流を引き起こす段差をなくすることができる。
- ③カラーの真円度は、一般的な標準パイプ規定されている対応交差（0.01～0.0015D）と同等、またはそれ以上である。

3.3 耐食性

T-DRILL工法によって製造されたカラー付き分岐管は形状が滑らかで、表面品質も良好であり、これらは優れた耐食性を実現するうえで重要な利点となる。

独自に調査した「T-DRILL工法によるオーステナイト系ステンレス鋼管ティー分岐の耐食性」の結論は、以下の通りである。

カラー部に生成されるマルテンサイトの量が少ないことが確認された。鋼材が不動態状態を維持している限り、さらに高い含有量であっても問題はない。

分岐管の溶接によるカラー部の鋭敏化は、試験された鋼種（C0.04%）では発生していない

カラー付分岐部の孔食耐性は、冷間曲げ管や溶接ビード部と比較して良好である。T-DRILLはフォーミングピンの状態管理や適切な潤滑を行うほか、工具材としてアルミニウム青銅、窒化チタンアルミニウム（TiAlN）、窒化アルミニウムクロム（AlCrN）を使用することでこの特性はさらに向上する。

実際の応力腐食割れの多くは、局所的な環境条件によって引き起こされる。これらを可否できれば、カラー付分岐管は、溶接後の熱処理を行っていない他の配管部品と同様に使用できる。

3.4 経済性

T-DRILL工法は、材料費、人件費、検査コストを大幅に削減できる。また、在庫の削減、資材の取り扱い、保管スペースおよび必要な作業スペースの削減による間接的なコストの削減にも寄与する。さらに、従来であれば廃棄物となるか、あるいは価値のない物として扱われがちな短いパイプなども、高付加価値な継手に転用することも可能である。

このように、機械成形された分岐接続部は、必要な溶接量および関連する二次加工を最小限に抑え、これまで購入していたT字継手を削減し。製品そのものの全体的な品質を向上させることができる。

3.5 自動溶接・全姿勢溶接・内面溶接の可否

ほとんどの場合、T-DRILLプロセスによって成形される分岐接続部は、全姿勢自動溶接装置やT-DRILL社が提供する内面溶接装置に適している。

3.6 品質保証

T-DRILLによるカラーリング工法は、調整可能な工具を用いて1度の段取りで機械的に実施される。下穴の寸法はダイヤルやデジタルなどの数値設定で制御するため、作業者のミスが発生する可能性が排除できる。さらに、これらの要素に加えて、分岐管接続部の加工後の溶接施工の際に必要な直管部の余長が十分確保できるため、従来施工法で実施されていたパイプ端面部の処理などが最小限に抑えられ、最終的な製品の高い精度と安定した品質が確保できる。

4 T-DRILLカラーリング加工機の特徴

改めてここにT-DRILLのカラーリング加工機の特徴をまとめてみた。

- ・ 1回のセットアップで高精度なカラーリングで突合せ溶接分岐管の製造が可能
- ・ 様々な材料に対応可能
- ・ すべてのカラーリング加工ツールの調整が可能
- ・ 大規模な工具類が不要
- ・ 溶接作業量，材料コスト，非破壊検査コストを削減
- ・ 運用コストが低い
- ・ 通常の用途では熱処理が不要
- ・ 材料調達を簡素化
- ・ 工場内のモジュール式製作に適している
- ・ 高い信頼性と品質
- ・ 同径分岐管まで対応できるカラーリングサイズ

5 T継手溶接 VS T-DRILL 工法

図3に従来手法である手溶接による手法と，T-DRILL社が提供するカラーリング+フランジング+円周溶接を組み合わせたT-DRILL工法を比較し検証した例を示す。

ここで実施した検証には，外形114.3mm，ステンレス鋼 sch 10パイプを使用した。

〈従来手法〉

継手 6個使用
パイプ 5本使用
溶接箇所 10箇所
作業時間 7時間20分

〈T-DRILL 工法〉＊T-DRILL 社による検証

継手 0個
パイプ 3本使用
溶接箇所 2箇所
作業時間 1時間5分

以上のように，作業時間の大幅な短縮や，溶接箇所の減少，また継手を使用しないことで在庫を持つ必要もなくなることが検証結果より読み取れる。

6 おわりに

今回はカラーリング加工後の溶接を念頭において，sch10相当の分岐管加工技術について紹介した。



図3 従来手法とT-DRILL工法の比較・検証例

T-DRILL社のカラーリング加工機は，分岐管の板厚についてはsch40相当まで対応できる機種も提供できる。

適用分野では，軟鋼材，カーボン鋼，ステンレス鋼，銅，アルミニウム鋼など多種多様の材質を加工した実績がある。納入実績のある業界は，水処理，パルプ・製紙，造船，食品・飲料，医薬，データセンター，自動車産業，半導体など多種多様である。

さらに，T-DRILL社のユーザーは世界各地の点在していることから，様々なニーズに対応している。世界に認められる「T-DRILL」工法による分岐管成形について詳しく知りたい方は，一度相談いただくと，何かお役に立てる情報が得られるのではないかと思います。