

日鋼特機㈱ 早川保 和田侯衛 ○青野文朗

要旨

原子力発電プラントの信頼性向上のため、原子炉压力容器用部材の一体化、大型化が進められ、大型複雑形状部品の信頼性の高い高能率NC曲面加工が要求されている。本報では当社において加工した改良型BWR (Advanced-Boiling Water Reactor 略称A-BWR)の原子炉压力容器用部材の一つである大型一体ノズル付きリングのNC加工方法の概要とNCデータの検証方法について述べる。

1. はじめに

次期の軽水炉として開発されたA-BWRは信頼性、運転および保守性を向上させるとともに、経済的であるという特徴を有している。特に原子炉一次系のシンプル化と高信頼性を目的とし、従来は原子炉压力容器の外側に設置されていた再循環ポンプが容器の内側に取り付けられた内臓型（インターナルポンプ）の構造となっている。この構造を可能とするため10個のノズルを内外に一体化した極厚リング（下部鏡板リング）の製造が必要とされ、機械加工においては特に一体ノズル周辺の信頼性の高い高能率NC曲面加工の技術開発が求められた。そこで、円周上に配置されているノズルおよびノズル間の加工を効率的に行うため、加工機械は大型NCターンミラーを用い、各々の加工箇所に適した専用アタッチメントの開発、高能率で加工する方法及びNCデータの検証方法の確立を行ったのでその内容について報告する。

2. 対象加工形状と加工機械

加工形状は図1に示すように、大径リングの傾斜面の内外に10個のノズルが等間隔で配置されている。内面側のノズルの高さは最大で400mm以上あり、リング内面との隙間が狭い形状となっている。仕上げ前加工形状は、軸対称部位は立旋盤での機械加工、ノズル間及びノズル回りはガス溶剤とガウジング造型によって実施され、仕上げ形状に対して約25mmの余肉を有している。加工機械は図2に示す同時4軸制御可能な大型NCターンミラーを用いた。

3. ノズル間の加工方法

ノズル間の加工は直径が大きいため、局部的に見た場合傾斜を持った平面として近似できる。そこで工具は、加工能率が高く良好な仕上げ面が得られるフェースミルとした。この加工の場合工具を常に加工面と垂直に保持し、しかもノズルとの干渉を避けた構造のアタッチメントが必要となる。剛性を高めるため角度を固定した傾斜アタッチメントを開発した。このアタッチメントによる加工状況を写真1に示す。

フェースミルの円弧面加工では、加工面に円弧状の凹凸が発生する。従って凹凸の高さを一定量に制限しようとした場合、切削幅が限定される。しかし、凹凸の高さを0.3mm以下にしようとした場合、φ50mmのボールエンドミルの場合ピックフィードは約8mmに対し、φ200mmのフェースミルの場合約80mmとなり、ボールエンドミルに対し10倍の切削幅を得ることができる。加工はφ200mmのフェースミルを用いX、Z軸を制御し工具を傾斜

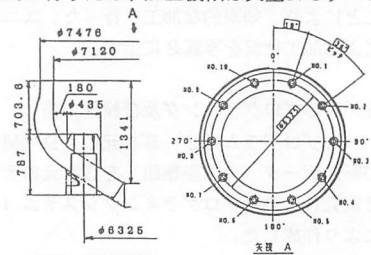


図1 製品形状

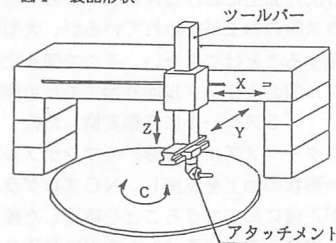


図2 加工機械

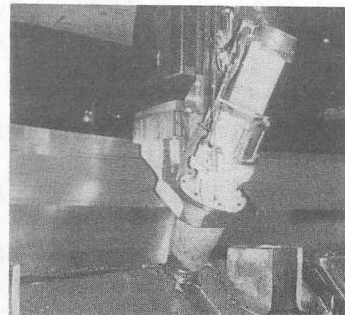


写真1 傾斜アタッチメントによる加工状況

面の一定位置に位置決めした後C軸を回転させて行った。

4. ノズル回りの加工方法

材料と工具の干渉が発生しやすい形状のため、大径の工具を用いることはできず、また工具の向きを加工箇所に応じて変更する必要があるため、Y軸方向に移動可能なユニバーサルアタッチメントを開発した。ノズル外径の加工に対しては、軸方向に加工するため振動が少なく安定な加工が得られるパーチカルミル(φ80mm)を用いた。ノズル間残部及びノズルコーナーR部の加工に対してはφ50mmの超硬ボールエンドミルを使用した。ボールエンドミル加工における問題点は、切刃中心で切削速度がゼロとなるため先端での加工が非常に不安定となることである。特に本加工のようにツールバー先端に大きなアタッチメントを取り付けた状態では、機械系の剛性が低下するためボールエンドミル先端で加工を行う場合、大きな振動が発生する現象が生じた。そこでボールエンドミル先端での加工を避けるため図3に示すように、加工部を3つに大別し各々の加工部において加工が安定する工具の向きと加工方向を設定することにより、効率的な加工を行った。ユニバーサルアタッチメントによる加工状況を写真2に示す。

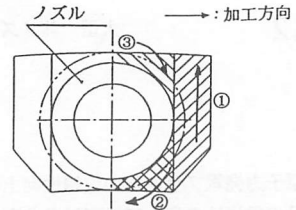


図3 ノズル回りの加工方向

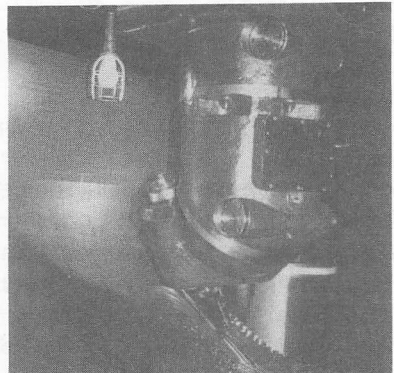


写真2 ユニバーサルアタッチメントによる加工状況

5. NCプログラミング及び検証方法

NCプログラムは2.5次元CAD(MICRO MADAM)の断面データ(点群座標値)を3次元のデータ構造に自動変換し、3次元NC自動プログラミングシステム(CAMSTAR-3D)により作成した。

3次元加工におけるNCデータの検証方法として、マシナブルワックス等の加工が行われているが、大型製品に対しては、そのまま適用することはできない。そこで図4に示す検証方法を開発した。ノズル間およびノズル回り加工のため作成したNCプログラムを用い、1/5スケールに自動変換した後、1/5縮小サイズ1/10セクター(ノズル1台分)のマシナブルワックスを材料に、製品と同一形状の加工を実施し、NCプログラムの妥当性および3次元曲面が正確に加工できることを確認した後、実際の加工で使用する機械、工具、アタッチメントを用い発砲スチロールを材料にフルスケール1/10セクターモデルの加工を行い、工具、ユニバーサルアタッチメントの妥当性および製品に対する干渉の有無を確認した。

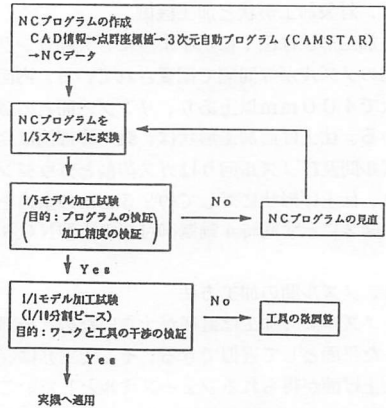


図4 NCプログラム検証の流れ

6. むすび

写真3に製品の完成形状を示す。大型NCターニンミラーを用いた大型一体ノズル付きリングの加工において、使用するアタッチメント、工具の形状及び運動方式を最適化し加工の高効率化を図り、またNCプログラムを縮小モデルと実体モデルの2段階で検証することにより、高い信頼性を実現できた。今後原子力発電機器の改良発展による構造の単純化の追求、環境にやさしい原子炉の開発がすすめられていくなかで、一体化製品の需要に対応すべく、一層の高効率加工工具とNCプログラミングの開発に努力していく所存である。

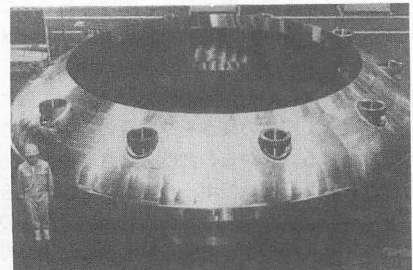


写真3 完成形状