

同時 5 軸制御による 3 次元的曲率形状を持つ大型鋳鋼製品の 高能率加工方法確立

(株)日本製鋼所 青野文朗 高佐成樹 川池宏幸 宿村孝博 ○今村祐輔

要 旨

3 次元的に捻れた曲率面に対し、常に面直角な溝など、複雑な 3 次元的曲率形状を持つ大型鋳鋼製品において、現有の同時 3 軸制御加工機だけでは要求される全ての形状を満足することは不可能であり、新たな加工方法の導入が必要であった。そこで、治工具の検討と加工テストを行い、側面刃付き特殊サイドカッタによる同時 5 軸制御加工を新たに考案し、要求される形状を高能率に加工することができたので報告する。

1. 緒 言

近年、大型鋳鍛鋼製品は、更なる大型化が進む一方、要求される加工形状も複雑化している。その中の 1 つに 3 次元的に捻れた曲率面を持つ大型鋳鋼製品があり、図 1 はその一部を示したものである。図のように側面と底面が共に円弧面で構成された、階段状の形状となっている。更に、この製品は底面に常に面直角となる溝を複数本加工しなければならない、加工をより複雑なものにしている。

このため、現在所有している同時 3 軸制御加工機と工具では要求形状を満足できる加工を行うことは不可能であり、新たな加工方法を確立する必要があった。そこで、同時 3 軸制御の大型横中削りフライス盤に 2 軸の可動軸を持つアタッチメントを取付けることで制御軸数を増やし、既存の制御軸と併せた同時 5 軸制御による加工方法を考案した。

本報では、この同時 5 軸制御加工に対応したアタッチメント、工具、および加工方法を開発したので、その結果を報告する。

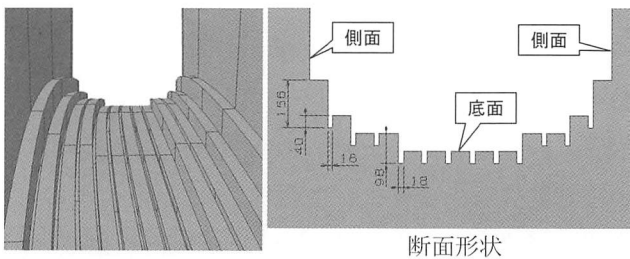


図 1 製品形状

2. アタッチメントの検討

実製品の加工は狭小な製品内部での加工となることから、アタッチメントは形状、重量、大きさ、可動範囲など、工具に比べ多くの制約を受ける。そこで、アタッチメント仕様の検討を工具選定に先だって実施した。

表 1 に製作したアタッチメントの諸元、図 2 にアタッチメントの概観を示す。現有の横中削りフライス盤用アタッチメントは、主軸回転をギアを介して伝達し、工具を回転させている。しかし、今回検討したアタッチメントは可動軸が多く、構造上、機械の主軸回転を伝達することが困難であり、工具回転用のスピンドルモータを内蔵する必要がある。

そこで、アタッチメントを工具回転軸方向の異なる 2 種類に分け、各軸の可動範囲を必要最小限にすることで小型化を図り、狭小な製品内部での加工を可能とした。

表 1 アタッチメント諸元

	工具回転軸方向	ピボット軸 可動範囲	チルト軸 可動範囲	最高回転数	最大トルク	重量
タイプ 1	底面に垂直	±30°	±15°	830rpm	853N・m	1.7t
タイプ 2	底面に水平	±180°	±15°			

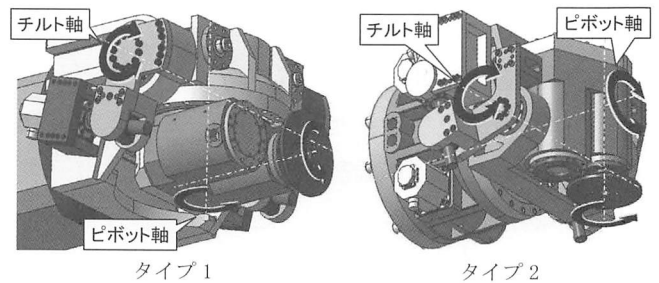


図 2 アタッチメントの概観

3. サイドカッタを使用した曲線加工方法の検討

溝加工工具には、エンドミルの他にサイドカッタが挙げられる。サイドカッタは、径方向への加工が一般的で、エンドミルに比べ加工の自由度が低いという短所があるものの、高剛性で刃数が多いことから深溝加工に強く、加工能率が高いという長所がある。そこで、サイドカッタ加工による高能率加工の検討を行った。

3-1. 通常のサイドカッタによる切削試験

まず、曲線加工の前段階として、汎用のサイドカッタを用い、径方向に対し傾きを持つ方向への溝加工が可能かテストを行った。図 3 にテスト概要を示す。傾斜角は、溝側面円弧曲率の最小値となる R12000mm をトランス 0.2mm で直線近似した際の交差角 0.66° に余裕を持たせた 0.8° を最大値とした。

傾斜角 0.6° までは、溝深さ 40mm まで問題無く加工できたものの、傾斜角 0.8° では、被削材とカッタボディが干渉してしまった。つまり、実製品加工への汎用サイドカッタ適用は難しく、干渉を防止するための改良が必要であるといえる。

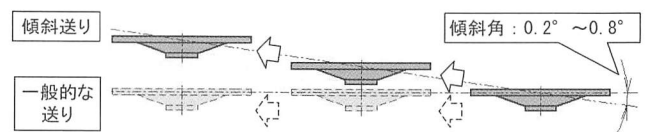


図 3 傾斜加工の概略図

3-2. テストカッタの製作、試験

3-1 の結果を踏まえ、サイドカッタ外周から溝加工深さ 40mm の位置まで側面に切刃を配したテストカッタを工具メーカーと共同

で製作した(図 4)。この側面刃は、外周刃に比べ切込み量が少ないことから、食い付き性向上と切削抵抗軽減のため、鋭い切刃を持つ超硬チップを適用している。

このカッタを用い、曲線溝加工のテストを実施した。溝の曲率は現有の加工機で加工可能な最大曲率(R2500mm)とした。

実製品よりも曲率が小さい溝加工であったが、カッタボディの損傷等は見られなかった。つまり、側面刃は、先のテストで問題となった工具干渉の解消に有効であるといえる。

また、サイドカッタによる曲線溝加工は、図 5 のように溝凹 R 側面に削り残しが生じる問題があり、テスト加工においても削り残しが確認されている。この削り残し量はカッタ径と溝の曲率で決まることから、実製品加工用のサイドカッタは、これらを考慮した設計が求められる。

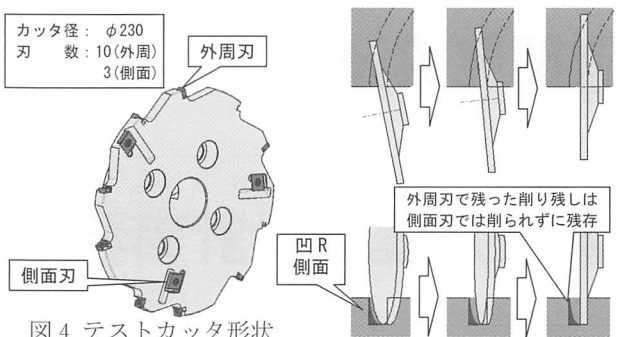


図 4 テストカッタ形状

図 5 凹 R 側面削り残しの概略

3-3 実製品加工用カッタ形状の検討

3-2の結果から、サイドカッタで溝加工を行った際、凹 R 側面に削り残す量を幾何学的に算出した(図 6)。溝幅の公差は 0~+1mm である事から、削り残し量を公差内にするには、カッタ径は最大 φ 400mm 程度に抑える必要がある。また、アタッチメントと製品の干渉を避けるため、カッタ最小径は φ 315mm 以上でなければならない。これら検討結果から図 7 に示す 2 種類のサイドカッタを製作した。

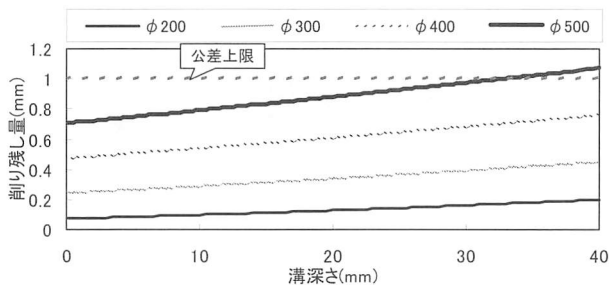


図 6 カッタ径による削り残し量の比較

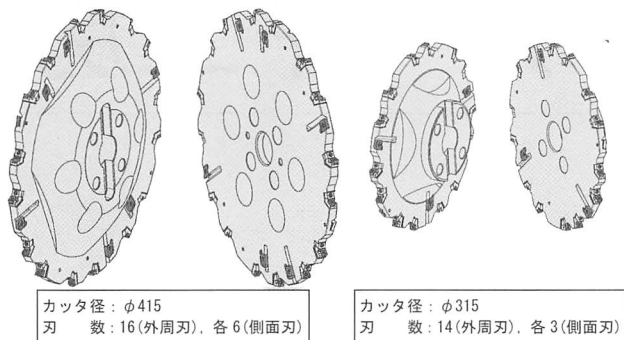


図 7 実製品加工用サイドカッタ概略

3-4 削り残し対策の検討

サイドカッタ径の最適化によって、溝の凹 R 側面に生じる削り残しは最小限に抑えられたものの、図 8 に示すような凹 R 壁面伝いの溝加工部では、壁面とカッタボディの干渉により、壁面と溝との間に段差が生じてしまう。

そこで、溝に対しカッタを傾斜させることで、段差を除去する加工を考案した。傾斜角度は、立ち壁面との干渉を起こさない最小量 0.6~0.8° としている。

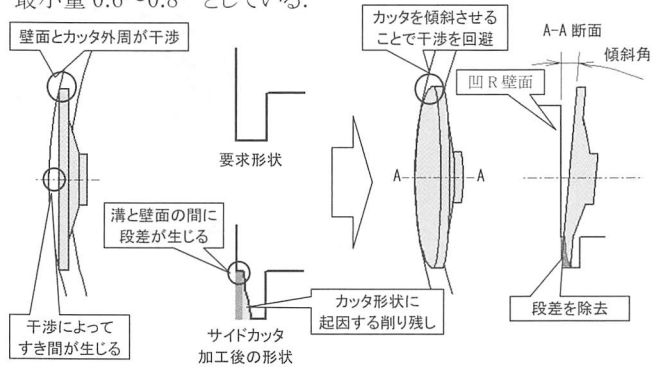


図 8 凹 R 壁面伝いの溝加工方法

4. 5 軸加工用 NC プログラミング

今回の 5 軸制御加工は、ボールエンドミルを使用した一般的なものと異なり、特殊アタッチメント、大径サイドカッタを使用していることから、汎用の加工シミュレータのみでの対応は難しい。

そのため、加工形状チェックに使用した Vericut(シミュレータ)には、専用のカスタマイズを施しており、正確かつ高効率な加工プログラム作成を実現している。

5. 5 軸アタッチメントを使用した実製品形状の加工テスト

5 軸アタッチメントを使用し、実製品加工を想定したテスト加工を実施した。図 9 に被削材形状を表 2 に切削条件を示す。また、比較のため、エンドミルでの加工も実施している。

加工後の寸法測定で問題は確認されず、要求形状を満たす加工を実現することができた。また、エンドミル加工と比較しても切削条件が上がることを確認出来た。

表 2 切削条件

使用工具	加工工程	回転数	送り	切込み深さ	切削幅
		rpm	mm/min	mm	mm
ラフィングエンドミル (φ 18 ハイス)	割込み	640	180	20	16
	幅拡げ	640	340	20	1
φ 315 側面刃付き サイドカッタ	割込み	145	300	20	14
	幅拡げ	145	300	20	1
φ 415 側面刃付き サイドカッタ	割込み	110	300	20	14
	幅拡げ	110	300	20	1

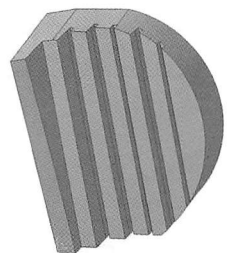


図 9 被削材形状

6. 結 言

本報では、同時 5 軸制御加工に対応するための治工具および加工方法の検討を行い、以下の成果を得た。

- (1) 2 種類の特殊アタッチメントを製作し、狭小部における同時 5 軸制御加工を実現した。
- (2) 曲線溝の高効率加工方法として、サイドカッタによる加工を考案し、エンドミル加工よりも高効率な加工を実現した。
- (3) 5 軸制御に対応する加工シミュレータを導入し、効率的な加工プログラム作成体制を確立した。