

三次元CAD/CAMシステムを活用した セグメント型インターナルギヤの製作

四国職業能力開発大学校

附属高知職業能力開発短期大学校

古賀 俊彦

佐藤 和史

Development of the manufacturing method for segment type internal gear which utilized 3-dimensional CAD/CAM system

Toshihiko KOGA, Kazufumi SATO

要約 近年、高性能な加工機やCAD/CAMシステム、工具類の発達等により、いろいろな加工技術を利用した金型加工や部品加工等が行われており、日本だけでなく海外でも高品質で精度の高い「ものづくり」が可能な時代となった。その結果、海外との激しいコスト競争を強いられているのが我が国の現状である。やはり、コスト競争に勝つためには、生産性を向上させることが重要であることは言うまでもない。

当短大校では、以前から造船業の㈱SKKを中心としたCCM研究クラブに対してCAD/CAMシステムを活用した技術支援を行っており、生産性の向上に貢献してきている。昨年までの技術支援では、インターナルギヤの加工に必要なNCデータをCAD/CAMシステムで作成することにより、段取り時間の大幅な削減が可能となった。

今回は、事業主団体研究開発事業として、「加工時間短縮によるコスト削減」に取り組むこととなり、効率的な加工を行うために現在の加工方法を根本的に見直すこととした。そこで、今までの加工状態、加工方法を把握し、切削の理論等基本的な事項を考慮して、問題点の追求、改善等を行い、その結果、加工時間の短縮を図ることが可能となった。

I はじめに

本年度、事業主団体研究開発事業として取り組んだCCM研究クラブは、㈱SKKを中心にCAD/CAMシステムを有効活用した製品開発・製造の研究に取り組んでいる団体である。特にCAD/CAM技術については当短大校発足以来、モデリング技術や加工パスの作成等についてソフトウェアの利用方法を中心に技術支援を行ってきた。

また昨年より、CAD/CAMシステムを活用したセグメント型インターナルギヤの開発についても、技術支援を行っており、NCデータを作成する時間を削減することができた。しかし、生産性の向上、コストの削

減、加工時間の短縮には、まだ至らない状況であった。

そこで今回、CAD/CAMシステムの活用方法や現在の加工方法を根本的に見直すことで、加工時間を短縮し、大幅なコスト削減を図ることを目的とした研究を進めることとした。

II インターナルギヤ製作の概要

インターナルギヤ（以下、ギヤ）とは、図1に示すように、海底の土砂等を掘り揚げる洋上クレーンの旋回部に使用されている内歯車のことである。

ギヤの製作にあたっては、従来、ホブ盤で加工していたが、近年、クレーンの操作性を向上させるため、



図1 洋上クレーン

製品精度が要求されるようになり、現在は図2に示すようなCCM研究クラブで開発したインターナルギヤ創成機で加工している。この創成機は、XYZ軸と旋回できる主軸を持つ4軸のマシニングセンタと同じ構造であり、その仕様を表1に示す。

製作するギヤは、ピッチ円直径4500mm、モジュール25mm、歯幅190mm、歯数180枚、材質鋳鋼 (SCMN2A) であり、大型加工となるので、西日本では、この(株)SKKのみが生産可能な製品である。

製作においては、製品サイズが大きいため、テーブルストロークに限界があり、ギヤを6セグメントに分割して切削加工を行う。その後歯先を高周波焼入れし、溶接で組付ける工程を採っている。

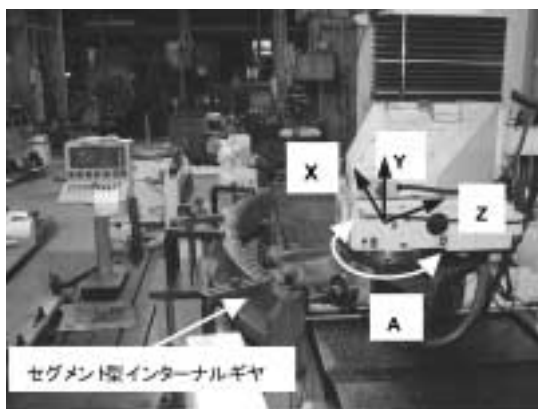


図2 インターナルギヤ創成機

表1 インターナルギヤ創成機仕様

主軸回転数	8000	min ⁻¹
送り速度	3500	mm/min
X方向移動量	3300	mm
Y方向移動量	500	mm
Z方向移動量	500	mm
旋回角	180	度

Ⅲ 加工時及び加工方法の問題点

1 加工時の問題点

加工時間の短縮を行うための、機械、工具、ジグ等の問題点を下記に整理した。

- (1) ホルダより熱が発生し、図3のように主軸とホルダが焼き付き現象を起こし、ホルダが抜けなくなる。



図3 ホルダの焼き付き

- (2) 被削材の取付けに関して、創成機の設置の関係で、図4に示すようなギヤ取付けジグを用い、不安定な高さの位置で加工しなければならない。そのために、材料が振動して、騒音が発生する問題がある。



図4 ギヤ取付けジグ

- (3) 図5に示すようにジグを載せるベットが2種類で構成されており、その1つの上面部の肉厚が50mmと薄く強度不足であり、加工時に体感できるほど振動する。
- (4) 加工時間が長く夜間の無人運転を行いたいが、隣接した民家があり、騒音問題で夜間作業ができない状況である。

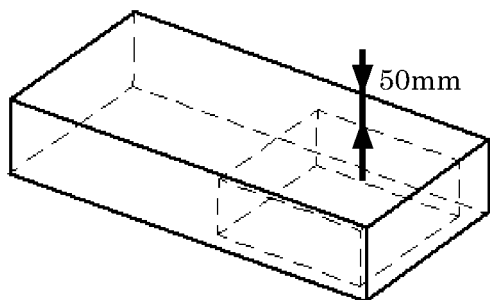


図5 ベット

2 加工方法の問題点

振動、びびり等の理由で等高線加工ができないため、突き加工を行っている。その突き加工では、歯面に沿って加工後、材料を削らずに戻るので、エアーカット時間が全体の加工時間の1/3以上を要している。その加工方法を図5に示す。

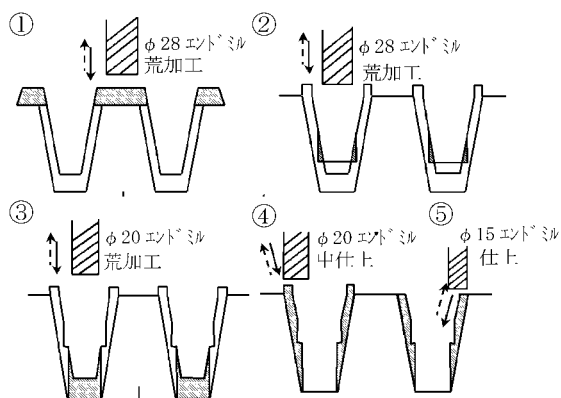


図5 加工方法 (突き加工)

加工工程は、5工程あり、荒加工では、φ28、φ20のフラットエンドミル、チップ材質を超硬コーティング (TiN) による突き加工で歯先、歯底を加工する。荒加工の切削時間は10.5時間である。荒加工の様子を図6に示す。

中仕上げ加工は、φ20のフラットエンドミルにより、歯側面に倣いながら (突き加工)、左側歯面を加工後、右側歯面を加工する。中仕上げ加工の切削時間は、12.5時間である。

仕上げ加工では、φ15のフラットエンドミル、チップ材質を超硬コーティング (TiN) で中仕上げ加工と同様に行う。仕上げ加工の切削時間は、28時間である。実際の仕上げ加工の様子を図7に示す。

以上より、1セグメントのギヤの加工時間が、荒加工から仕上げ加工まで合計で約51時間かかっている。

IV 改善

1 ジグの改善

ホルダの焼き付きと材料の振動は、被削材の取付け剛性不足が主な原因であると考えられる。そこで、次のような対策を行った。

まず、基本的なことであるが、工具突出し長さを200mmから165mmと必要最小限短くした。下記のとわみの式(1)⁽¹⁾からわかるようにたわみ量は、工具突き出し長さの3乗に比例するため、たわみ量を以前の半分を押さえることができることが推定できる。

$$\delta = \frac{WL^3}{3EI} \times 10^3 \quad (1)$$

δ：たわみ量[mm] W：切削抵抗[N]
L：工具突き出し長さ[mm] E：ヤング率[GPa]
I：断面2次モーメント[mm⁴]

図8に示すように被削材のクランプ数を増やし、クランプの締付けボルトの位置を変更した。

次に一方のベットの強度不足については、図9に示すような調質鋼 (Hv340) の梁を組付け、ベットの強度を向上させ、振動やたわみの軽減を行った。

以上の改善により、ホルダと主軸部の発熱について解決でき、騒音についても減少させることができた。



図6 荒加工



図7 仕上げ加工



図8 クランプと締め付け位置

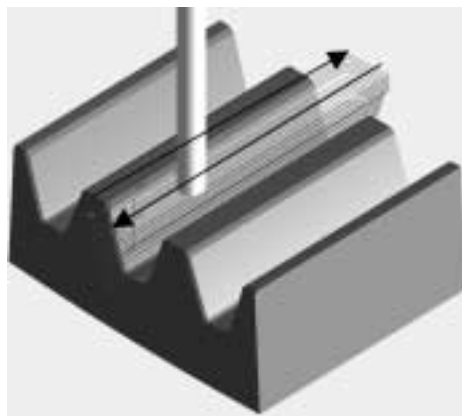


図11 CAD/CAMによるカッターパス



図9 ベット強度改善

2 加工方法の改善

加工時間の大部分を占める中仕上げ加工、仕上げ加工については、エアーカット時間の短縮ができ、切削負荷変動の安定した加工が可能な等高線加工⁽²⁾に変更した。等高線加工に変更したことにより、カッターパスの運動距離も、中仕上げ加工で570mから250mとなり56%の短縮、仕上げ加工でも2547mから1200mとなり52%短縮できた。

図10に等高線加工の様子、図11にCAD/CAMによるカッターパスを示す。



図10 等高線加工

また、工具については、今まで突き加工用に専用工具を使用していたが、加工方法を等高線加工に変更したこと及び工具コストを考えて、汎用の工具、チップを使用することとした。

工具選定においては、 $\phi 20\text{mm}$ のフラットエンドミル、ラジラスエンドミル (R5)、高送り用エンドミルを使用し、試し加工を行うこととした。ラジラスエンドミル、高送り用エンドミルでは、加工時に明らかに振動、騒音が発生した。その結果、中仕上げ加工については、民家への騒音問題も考慮して、一番騒音が低減できた $\phi 20$ のフラットエンドミル、チップ材質を超硬コーティング (TiAlN) を使用し、黒皮によるチップング防止のためアップカットを採用した。

また、仕上げ加工については、仕上面あらさ向上のため、仕上形状上可能な範囲で大きなRのついた $\phi 20$ のラジラスエンドミル (R5)、チップ材質を超硬コーティング (Al_2O_3) を使用し、ダウンカットを採用した。

なお、荒加工についても、等高線加工を試みたが、加工素材の歪による取代の不均一性や鋳鋼の砂かみの問題等もあり、従来どおりの突き加工を採らざるを得なかった。この点については、今後の研究課題となった。

V 改善効果

1 加工時間

加工方法の改善、工具の再選定により、カッターパスの運動距離を短縮でき、切削速度 $V[\text{m}/\text{min}]$ を上げることができた。

切削条件は、カタログ値⁽³⁾を参考に選定した。中仕上げ加工では、被削材剛性、切削時間、騒音を考慮して、推奨値の8割程度の条件にした。また、仕上げ加工では、

今までの突き加工とは、筋目の方向が異なるため、現在の製品あらしさを参考に、送り速度とZ方向のピック量を変えて、いくつかサンプルを製作し、その中から企業に選定して頂いた。

以前と比較した中仕上加工の切削条件を表2、仕上加工の条件を表3に示す。また、加工時は油剤のコスト削減も含めて、以前と同様にエアブローである。

表2 中仕上加工の切削条件

	改善前	改善後
加工方法	突き加工	等高線加工
切削速度(m/min)	120	140
送り量(mm/刃)	0.2	0.2
ピック量(mm)	Y方向	Z方向
	1	3

表3 仕上加工の切削条件

	改善前	改善後
加工方法	突き加工	等高線加工
切削速度(m/min)	140	200
送り量(mm/刃)	0.25	0.4
ピック量(mm)	Y方向	Z方向
	1	0.5

以上により、中仕上加工、仕上加工では、それぞれ7.8時間、20.3時間と大幅な切削時間の短縮が可能となった。その改善前後の1セグメントあたりの切削時間を表4に示す。

表4 1セグメントあたりの切削時間

	改善前	改善後	短縮時間
荒加工	10.1時間	10.1時間	—
中仕上加工	12.5時間	4.7時間	-7.8時間
仕上加工	28.3時間	8.0時間	-20.3時間
合計加工時間	50.9時間	22.8時間	-28.1時間

短縮時間は、1セグメントで約28時間となり、加工時間は従来の半分以下となった。実際のギヤ製作は、6セグメント必要となることから、トータルで168時間短縮できたことになる。

また、付随結果として、加工時間の短縮ができたことで、通常勤務時間内での加工が可能となり、仕上加工では、加工時の騒音問題も解決したことから、夜間の無人運転も可能となった。

2 工具寿命

工具寿命の判定を行う予定であったが、ワークが鋳鋼であり砂かみがあるため、その部分を切削するとチップピングしたり、工具の摩耗が急激に促進するので、加工時の振動、切削状況（バリの発生、火花等）、すくい面、逃げ面摩耗から工具寿命の目安とした。チップ1コーナによる加工時間と歯数を表5、使用した中仕上加工用チップを図12に示す。このチップの状況からわかるように摩耗の状況もそれほど進行していないため、まだ切削は可能である。

表5 チップ1コーナによる加工時間と歯数

		改善前	改善後
中仕上加工	加工時間	66分	88分
	歯数	5枚	10枚
仕上加工	加工時間	200分	173分
	歯数	6枚	12枚



図12 中仕上加工チップ摩耗状況

仕上加工については、切削速度を1.4倍大きくしたため、チップ1コーナでの加工時間は短くなっているが、加工できるギヤの歯数つまり、切削長さは2倍に増えていることとなる。また、今回選定した仕上加工用チップは、2コーナから4コーナ使用可能なチップであり、2倍の切削ができる。よって、以前のチップと比較すると1チップで4倍の歯数を加工できたこととなる。

3 表面あらし

今回の加工では、送り速度を上げたにもかかわらず、振動低減により、あらし（最大高さ）（表6）は、送り方向、ピック方向の面あらしとも向上した。

また、この表から判断しても、ピック方向に対して送り方向のあらしが半分程度小さいため、総合的な面のあらしを変えることなく、送りを上げることができ⁽⁴⁾、今後の条件設定では時間短縮することは可能である。

表6 最大高さ (Ry)

	改善前	改善後
送り方向	7.9 μ m	4.2 μ m
ピック方向	14.8 μ m	8.2 μ m

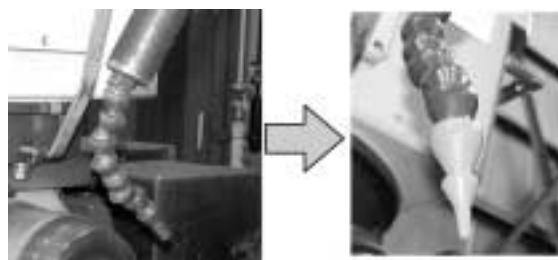
4 その他

従来は、図14の面取り部をグラインダで手動加工しているため、製品精度のばらつきが多く、大変な労力を費やしていたが、今回新たにCAD/CAMシステムで面取り部の加工パスを作成した結果、大幅な時間短縮ができ、精度向上にも寄与した。

また、図13に示すように、工具の冷却、チップング防止等に使用するエアブローのノズルの噴出口を小さくする改善を行い、空気消費量を、520 (ANR) から270 (ANR) へ、48%削減した。その結果、コンプレッサは、常にフル稼働の状態から間欠運動へ変えることができ、さらに、以前よりも強くブローすることが可能となった。よって、加工時間の半減と合わせて、コンプレッサ稼働時間は約1/4となり消費電力の削減にもつながった。



図13 面取り加工



(A) 改善前 (B) 改善後

図14 エアブローの改善

VI 成果

加工方法の変更により次の成果を得ることができた。

- 切削時間を1ゼグメントで28時間の短縮

- 加工時間の短縮による勤務時間外にわたる時間外手当の削減
- 専用工具から汎用工具変更によるコスト削減
- 振動低減による工具寿命、表面あらかの向上
- 加工機・コンプレッサ等の稼働時間短縮による消費電力削減
- 面取り部加工パス追加による加工精度の向上

以上により、今回の研究目的である「加工時間短縮によるコスト削減」の成果を得ることができた。

今回、研究開発で製作したインターナルギヤを図15に示す。



図15 インターナルギヤ

VII 研究後の取り組み

研究成果として開発された加工方法は、実際の製品加工に採用された。また、CCM研究クラブのメンバーに対しても研究の過程、加工方法等の改善理由を理解し、加工技術をレベルアップするためのセミナーを開催した。このセミナーを開催したことにより、CAD/CAMの知識だけでなく、切削の理論、効率的な加工方法等についての関連セミナーを広く受講してもらうことにつながった。

また、洋上用クレーンはその種類により、ギヤのサイズも異なるため、それぞれについて最適な加工方法を見出す必要があることから、今回の改善作業を基本とした、モデリングからNCデータ出力までのマニュアル作成を行った。このマニュアルを活用することで、研究クラブのメンバーだけでデータを作成できるようになり、すべての製品について最適な加工方法を見出すことができるようになった。

Ⅶ おわりに

今回の研究を通してCAD/CAMシステムを効果的に活用するためには、切削加工の知識を踏まえ、機械、工具、取付けジグ等のさまざまな関連する要因を考慮する等、総合的な知識が必要になることを改めて実感することができた。

最後に、共同研究開発をするにあたり、CCM研究クラブの関係各位にこの場をお借りして感謝申し上げます。

[参考文献]

- (1) 荻原国雄、材料力学 考え方解き方、東京電機大学出版社、p157
- (2) ㈱Siid、U-GURAPH V16 加工マニュアル 加工機能編、
- (3) 三菱マテリアル㈱、ダイヤチタニットカタログ、2000年、9月P4-6
- (4) 松岡甫高篁、安斎雅博、高橋一郎 はじめての切削加工、P18-21