Development of the State Monitoring System for large-sized Turbines Shaft Machining

○正 浅尾 晃通 (北九州高専) 正 水垣 善夫 (九工大)
 正 寺井 久宣 (北九州高専) 正 吉川 浩一 (九工大)
 正 大小森義洋 (日本鋳鍛鋼)

Teruyuki ASAO, Kitakyushu National College of Technology,
 Shii 5-20-1, Kokura-minami-ku, Kitakyushu city, Fukuoka
 Yoshio MIZUGAKI, Kyushu Institute of Technology
 Hisanobu TERAII, Kitakyushu National College of Technology
 Kouichi KIKKAWA, Kyushu Institute of Technology
 Yoshihiro OHKOMORI, Japan Casting & Forging Corporation

1. 緒言

発電用タービン軸や鉄鋼プラント用バックアップロール ($\phi 2,000 \times 4,000$) は「調質前加工 (切削)」, 「調質後加工 (切削)」, 「研磨加工」, 「キー溝加工」, 「センター穴加工」, 「手入加工」の工程を経る。特に調質後の外周切削は加工時間・コスト共に全製造工程の約30%を占めている。また, 焼入れされた炭素鋼に比べ1.5倍程度の硬さを持つCrMoVNB鋼では, 工具摩耗により1回の長手切削でさえ1本の工具 (工具交換無し) で加工が終了することは難しい。しかし, この工具の摩耗や欠損 (破損) が製品の寸法確保および生産性に大きな影響を及ぼす。大型のロール旋盤で工具交換の時期を適切に作業者に知らせることが出来るこの工程を効率良く行うことが出来れば, 加工時間の短縮, コスト低減が可能になる。

そのためには, 切削状態を検出し工具交換の時期を知らせる状態監視システムの開発が必要になる。

本報告では, 大型タービン用主軸加工の監視システムにおいて切削抵抗を測定する際の工具動力計の開発について報告する。

2. 加工状態監視システム

工具摩耗を監視するには, レーザ変位計¹⁾を用いた直接監視法やAE²⁾からの信号を処理する間接監視法³⁾がある。直接監視法は, 一般的には作業を中止して測定するため時間的ロスが生じる。また, バックアップロールの加工では一回の切削 (長手方向) が数mにもおよぶことがあり不向きである。間接監視法は, 工具摩耗と切削状態信号の相関関係を得るための実験などが必要であるが, インプロセス

で実施出来るメリットがある⁴⁾。さらには, 大型ロール旋盤が置かれている加工現場の雰囲気 (大きな切りくずや切削油) ではレーザ変位計やAEを使って工具摩耗を測定することは非常に困難である。そこで本研究では, 切削抵抗を常時監視することで工具摩耗の進行を推測するためのシステムを開発する。

図1に大型タービン用主軸加工の監視システムの構成を示す。切削動力計からのデータは, チャージアンプを介してパソコンに取り込まれる。また, データ収集の場合のみCDDカメラによって工具逃げ面の摩耗量が測定される。実際の加工では, 切削抵抗のデータ (絶対値や振幅) を実時間で測定しこのデータを使って工具摩耗を予測し, 作業者に工具交換の時期を知らせる。

3. 歪みゲージ内蔵型工具ホルダの開発

図2に本研究に使用するロール旋盤用工具ホルダの外形

Fig.1 System configuration

Fig.2 Configuration of tool holder

を示す。この工具ホルダは右勝手用で左方向にオーバーハングした形状になっている。また、Dの部分がユニットになっておりそこにスローアウェイチップが取り付けられる。ホルダ後方にはプルスタッドボルトがあり、刃物台とは面Aおよび面Bのみで固定される。なお、面Bには送り方向の力を受けるためのセレーション加工が施されている。

図に示されるように、このロール旋盤では専用の工具ホルダを使用しているため、市販の工具動力計を利用することができない。そこでこの工具ホルダに歪みゲージを貼り切削抵抗（主分力）を測定するが、その際工具ホルダの剛性を落とさないこと、高温の切りくずによる温度上昇を防ぐことなどを考慮しなければならない。

今回は Autodesk 社の Mechanical Desktop で工具ホルダの三次元形状データを作成し（ユニット部は本体とボルトによる締結のため今回は一体型とした）、切削抵抗による変形量を Design Space CAE により有限要素法解析を行った。

4. 解析結果

表1 工具ホルダの有限要素法解析を行うための物性値を示す。今回の有限要素法解析では、節点数を3,596、要素数を2,132とした。拘束条件は図2中の面Aおよび面Bを完全固定とした。

切削抵抗は工具先端（図2中のC点）に垂直方向（Y軸：主分力方向）に2,500N、背分力1,250N、送り分力1,250Nかかるものとして計算した。これらの値、は加工現場と同一条件（切込み1.0mm、送り0.5mm/rev）で予め市販の25角のバイトホルダに歪みゲージを貼り中型CNC旋盤を用いて切削実験した結果を基に比切削抵抗を5,000MPとして計算した。

図3に工具ホルダの変形量を計算した結果を示すが、図2に示すユニット部での変形が約 $1.4\mu\text{m}$ となっている。図4、図5はY軸、X軸方向（背分力方向）の変形量の

Tab.1 Physical properties

Young's modulus	$2.0 \times 10^{11} \text{Pa}$
Poisson's ratio	0.3
Density	$7,850 \text{kg/m}^3$
Coefficient of linear thermal expansion	$1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
Coefficient of heat transfer	$60.5 \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

Fig3. Calculated result (resultant displacement)

Fig4. Calculated result (Y axis displacement)

Fig5. Calculated result (X axis displacement)

を表示したものである。これらの計算結果より、Y軸方向の変形が全体の変形とよく一致していることがわかる。これらの計算結果は、切削抵抗を測定する際の歪みゲージ貼り付け位置を決定する指針として活用することが出来る。

5. 結言

大型タービン用主軸加工において切削抵抗を測定することで加工状態を監視システムを構築することを目的に、今回は専用のバイトホルダについて有限要素法解析を行い、歪みゲージ内蔵型工具ホルダの開発の指針を得た。

今後は高温の切りくずによる熱の影響やゲージの破損を考慮して工具ホルダの改良を目指したい。

【参考文献】

- 1) 笠島永吉, Oleg Ryabov, 森 和男: レーザセンサを用いたインプロセス工具モニタリング, 日本機械学会誌 (C編), 63, 608 (1997) 1237.
- 2) 小島浩二, 稲崎一郎, 三宅亮一: アコースティックエミッションを利用した旋削プロセスの監視, 日本機械学会誌 (C編), 52, 474 (1986) 799.
- 3) 森脇俊道, 森芳信: ニューラルネットワークを用いた切削状態の認識に関する研究, 精密工学会誌, 59, 5 (1993) 779.
- 4) 松村隆, 村山孝博, 臼井英治: エンドミル加工における工具逃げ面摩耗監視システム, 精密工学会誌, 65, 11 (1999) 1617.