

難削材の切削加工における環境性能の向上に関する研究

デジタルものづくり課 川堰宣隆 機械電子研究所 羽柴利直

1. はじめに

本研究は、工具摩耗、工具の冷却や切削力など複合的な要因が大きく影響する難削材の切削加工において、従来までの品質、能率、コストに環境性能を加えた観点から、最適な加工条件を明らかにすることを目的とする。

本報では、ライフサイクルアセスメント(LCA)によるステンレス鋼の切削加工におけるCO₂排出量の定量的評価より、環境負荷の大きくなる要因を明らかにするとともに、その削減方法について検討した。

2. 実験条件および方法

被削材には、硬度、熱伝導率や加工硬化のしやすさから難削材として知られる、ステンレス鋼 SUS304 を使用した。加工機には、キタムラ機械(株)製 Mycenter-3XiG を使用した。工具には、直径 10 mm のアルミナ系コーティングを行った超硬エンドミルを使用し、ステンレス鋼の側面加工を行った。表 1 は、加工条件である。

3. 実験結果および考察

図 1 は、マシニングセンタのアイドリング状態から、ステンレス鋼の角材を 4 回側面加工し、アイドリング状態に戻るまでの消費電力の変化である。切削速度は、200 m/min である。違いがわかりやすくなるよう、各工程間で約 30 秒待機させている。なお、コンプレッサーの消費電力は含まれていない。

スピンドル、ポンプ等の各機械要素の起動により、消費電力が大きく増加することがわかる。また、加工中の負荷によっても消費電力は増加する。本実験条件下においては、とくにポンプの増加量大きい。CO₂ 排出量の評価では、各機械要素起動時の消費電力の増加量を、その機械要素の消費電力とした。

つぎに、切削速度を変化させて加工したときの、環境負荷の比較を行った。評価では、加工中の電力に加え、Scope 3 である使用する工具、切削油等の原材料からその製造プロセスを対象に、地球温暖化に影響する CO₂ 排出量を算出した。なお、加工前の素材、加工された製品およびマシニングセンタ製造時の CO₂ 排出量は加工条件によらず同等と仮定し、評価から除外した。

評価にあたり単純な製品モデルとして、150 mm × 100 mm × t60 mm の 150 mm 方向を工具送り方向とし、表 1 の条件で半径切込み方向に 50 mm 側面加工することで

Table 1 Cutting conditions

Tool	φ 10 Coated carbide endmill
Number of tooth	2
Cutting speed (m/min)	100, 200
Feed rate (mm/tooth)	0.05
Radial depth of cut (mm)	0.5
Cutting method	Down cut
Lubrication method	Wet (Emulsion type)

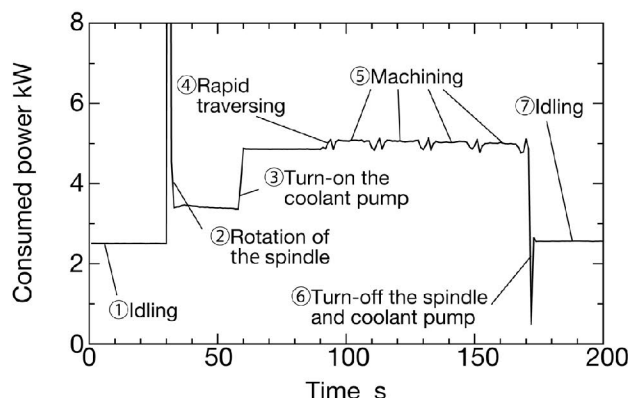


Fig. 1 Change in the consumed power while cutting stainless steel using machining center

製品となるように設定した。工具寿命は、逃げ面摩耗幅が 0.15 mm に達するまでとした。

切削速度を変化させて加工実験を行った結果、切削速度 100 m/min の場合、切削距離 510 m で工具寿命に達した。一方、切削速度 200 m/min では切削距離 270 m で切れ刃にチッピングが生じ、工具寿命に達した。

以上の結果と仮定を基に、インベントリ分析を行った。本研究では上記のモデルに対し、1 ヶ月あたりの CO₂ 排出量を算出した。製品の生産は 1 日 8 時間、1 ヶ月あたり 20 日間行うこととし、工具および製品の交換時間も考慮した。CO₂ 排出量の原単位には、データベース、文献値や企業の公開情報を使用した。

図 2 は、切削速度を変化させてステンレス製品を 1 ヶ月生産したときの、CO₂ 排出量である。1 ヶ月あたりの CO₂ 排出量を比較すると、主にスピンドルの電力や工具に起因して、切削速度 200 m/min の排出量が大きくなった。また電力と比較して、工具や切削油に起因した排出量は小さなことがわかる。

製品 1 個あたりで比較すると、切削速度 200 m/min のときに工具使用量が多く、工具製造の CO₂ 排出量が大きくなる。一方、加工時間の短縮によって、マシニングセンタ、ポンプやコンプレッサーなどの電力量が削減され、

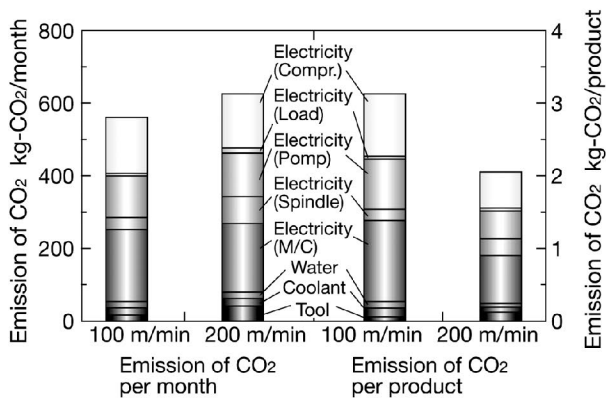


Fig. 2 Comparison of emission of carbon dioxide at different cutting speeds

CO₂ 排出量は小さくなった。さらに、加工製品数も 1.7 倍であり、生産性の観点からも優位であるといえる。

以上の結果より、本材料加工においては、マシニングセンタおよび周辺機器の消費電力が CO₂ 排出の主因となることがわかった。本研究ではその中で、ポンプの消費電力に着目した。マシニングセンタでは、加工時に必要十分以上の切削油が供給されている。これを必要最低限な量に制限することで、ポンプ稼働に要する消費電力を減少させることができると考えた。そこで切削油の供給量による加工特性の変化について検討し、ポンプの消費電力低減の可能性について検討した。本マシニングセンタではポンプ吐出量の調整ができないことから、供給配管にバルブを取り付けることで、供給量を変化させた。加工実験では、熱的影響の大きな切削速度 200 m/min で切削距離 60 m の加工を行い、供給量による工具摩耗と表面粗さの違いについて検討した。

図 3 は、切削油の供給量を変化させたときの、工具摩耗幅と表面粗さである。切削油の供給量は、最大の供給量(25 L/min)に対する割合で示した。供給量を 50% に減少させても、工具摩耗や表面粗さに変化は見られず、加工に十分な量の切削油が供給されていることがわかる。

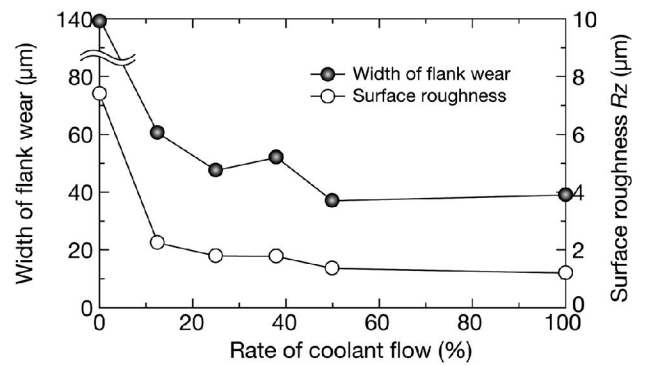


Fig. 3 Comparison of tool wear and surface roughness at various rates of coolant flow

供給量が 38% 以下になると、工具に微小なチッピングが生じ、表面粗さも増加した。これらの条件では、加工に必要な量の切削油が供給されていないといえる。さらにドライ加工 (0%) では著しい工具摩耗が生じたことから、切削距離 15 m で加工を中止した。

以上の結果より、熱的影響の大きなステンレス鋼の高速切削において、切削油の供給量をマシニングセンタの規定値に対して 50% まで減少させても、同等の効果が得られることがわかった。これより、ポンプの吐出量を制限し、その消費電力の減少させることで、CO₂ 排出量のさらなる削減の可能性を示すことができた。

4. おわりに

本報では、ステンレス鋼のミリング加工実験を行い、難削材の切削加工における CO₂ 排出量の定量的な評価を行った。これより本材料加工においては、マシニングセンタと周辺機器の消費電力が CO₂ 排出の主因となり、切削速度の大きな場合に、製品の CO₂ 排出量を削減することができる。さらに、切削油の供給量を 50% 程度に制限した場合でも同様な効果が得られており、ポンプ吐出量の制限による CO₂ 排出量の削減が可能なのことがわかった。

キーワード：カーボンニュートラル、LCA、切削加工、CO₂ 排出量、ステンレス鋼

A Study on Enhancement of Environmental Performance in Cutting Difficult-to-Cut Materials

Digital Manufacturing Section; Noritaka KAWASEGI

Mechanics and Electronics Research Institute; Toshinao HASHIBA

Carbon neutral production is required in industrial field to correspond to environmental issues. In this study, we investigated emission amount of carbon dioxide in cutting process of a stainless steel, known as a difficult-to-cut material. The emission amount of carbon dioxide decreased at high-speed cutting, due to the reduced power consumption of the machining center caused by the shortened cutting time. In addition, similar effect of coolant was obtained at the its discharge rate of 50%, indicating that the emission amount of carbon dioxide can be reduced by applying applicable discharge rate of coolant.