

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*1、山本貴文、小川結貴

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)を活用し、各種条件下で難削材である熱間工具鋼の切削加工実験を行い、環境負荷が大きくなる要因を明らかにするとともに、それを低減する手法について検討した。

2. 実験条件および方法

被削材には、大きさ 150 mm × 150 mm × 150 mm の熱間工具鋼 SKD61 を焼入焼戻処理した材料(50HRC)を使用した。加工機には、マシニングセンタ(キタムラ機械(株)製 Mycenter-3XiG)を使用した。工具には、直径 10 mm の AlTiCr 系コーティングを行った超硬スクエアエンドミルを使用し、被削材の側面加工を行った。表 1 は、加工条件である。

3. 加工条件が工具寿命に及ぼす影響

エンドミル加工における切削速度や送り量を大きくすることで、単位時間あたりの除去体積は増加し、高効率な切削加工が可能である。まず、切削速度と送り量を変化させたときの、工具寿命について検討した。予備実験を行った結果、本材料加工では切れ刃の摩耗がある程度進行するとチッピングが生じ、加工部に大きなバリが発生する傾向にあった。そこで工具寿命は、切れ刃にチッピングが生じるまでとした。図 1 は、加工条件を変化させたときの、工具寿命に達するまでの切削距離である。切削速度が 120 m/min 以下の場合、工具寿命は 120 m であった。切削速度が 240 m/min になると、工具寿命は 2 倍以上長くなった。さらに切削速度を増加させ 360 m/min になると、工具寿命は短くなった。切削速度の小さな条件では、凝着摩耗が支配的であるといえる。切削速度が大きくなると、熱的要因によって凝着摩耗が生じにくくなり、工具寿命は長くなったと考える。切削速度が 360 m/min になると、熱的要因の増大によって拡散摩耗が進行しやすくなり、工具寿命は短くなったと考える。一方、送り量を増加させた場合、工具寿命は短くなった。以上の結果より、工具寿命の観点からは、切削速度 240 m/min、送り量 0.05 mm/tooth が最適であることがわかった。

*1 現 企画管理部

Table 1 Cutting conditions

Tool	φ 10 Coated carbide endmill
Work material	Hardened tool steel SKD 61
Number of tooth	2
Cutting speed (m/min)	60, 120, 240, 360
Feed rate (mm/tooth)	0.05, 0.10, 0.15
Radial depth of cut (mm)	0.2
Axial depth of cut (mm)	5
Cutting method	Down cut
Lubrication method	Wet (Emulsion type)

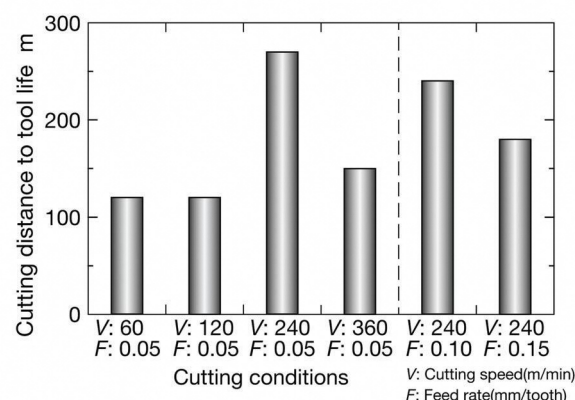


Fig. 1 Change in tool life while cutting hardened tool steel at various conditions

4. 加工条件が環境負荷に及ぼす影響

つぎに各種加工条件が、環境負荷に及ぼす影響について検討した。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。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、被削材を表 1 の条件で半径切込み方向に 20 mm 側面加工することで製品となるように設定した。

以上の仮定を基に、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製品を 1 ヶ月生産したときの、CO₂ 排出量である。切削速度の増加にともない、CO₂ 排出量は大きくなった。切削速度が 360 m/min の場合、図 1 で示した工具寿命の短さから、工具製造・廃棄

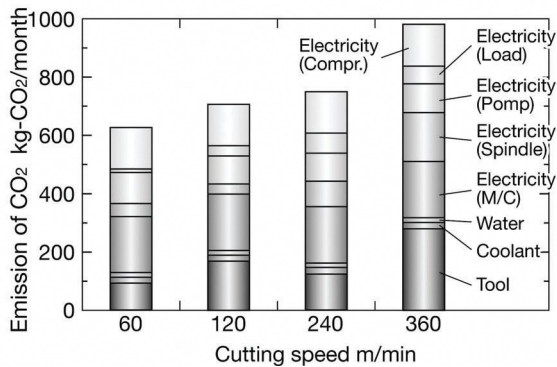


Fig. 2 Comparison of emission of carbon dioxide per month at different cutting speeds

に係る排出量の割合が著しく大きい。スピンドル電力に係る排出量も、大きな値を示した。さらに、加工負荷に起因した電力による排出量も大きくなるものの、その増加割合は上記の要因と比較して小さいことがわかる。

図3は、切削速度を変化させたときの、製品1個あたりのCO₂排出量である。切削速度が大きくなると、排出量は減少した。切削速度が大きくなると、加工条件によって変動しないマシニングセンタやポンプなどの使用時間を短くできる。これによって、それに関連した排出量が少なくなる。一方、切削速度が360 m/minになると、これらの割合は小さいものの、工具に関連した排出量の増加によって、240 m/min よりも値が大きくなった。このため本実験条件下において、排出量の観点からは 240 m/min が最適であるといえる。

図4は、送り量を変化させたときの、製品1個あたりのCO₂排出量である。送り量を増加させることで、切削速度と同様にマシニングセンタやポンプなどの使用時間を短くできる。一方、工具寿命は、送り量の増加にともない短くなる。これらの相互作用によって、本実験条件下では、送り量 1.0 mm/tooth が最小となった。

高速、高送り条件では、加工時間の短縮によって、電力に関連した排出量を減少させることができる。一方、

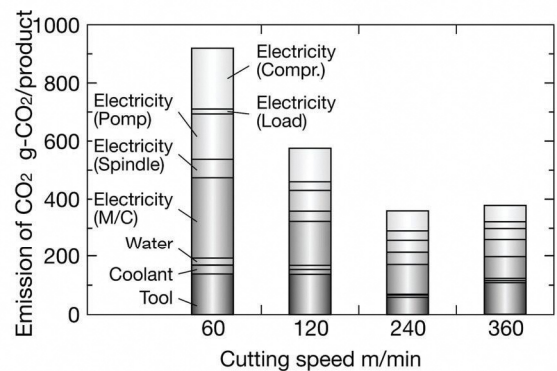


Fig. 3 Comparison of emission of carbon dioxide per product at different cutting speeds

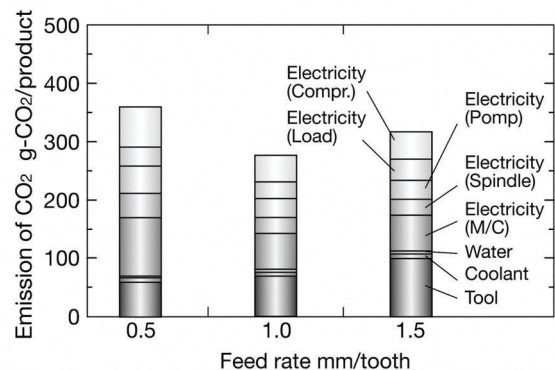


Fig. 4 Comparison of emission of carbon dioxide per product at different feed rates

加工条件によって、工具寿命は大きく変化する。同時に、スピンドル電力や加工負荷に起因する排出量も変化するものの、その変化量は工具と比較して小さい。このため難削材において環境負荷の小さな加工を行うためには、主に工具寿命を考慮した条件設定が必要であるといえる。

5. おわりに

本報では、熱間工具鋼のミリング加工実験において、環境負荷を低減する手法について検討した。これより、高速・高送り加工をしながら、とくに工具寿命を考慮した条件設定が重要であることがわかった。

キーワード：LCA、切削加工、CO₂排出量、熱間工具鋼

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

Digital Manufacturing Section; Noritaka KAWASEGI*¹ Takafumi YAMAMOTO and Yuki OGAWA

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 hardened tool steel, known as a difficult-to-cut material. The tool life is an important factor for reducing emission amount of carbon dioxide per product, and high-speed, high feed rate with long tool life conditions is effective to reduce the emission amount of carbon dioxide.