

補助事業番号 2024M-411

補助事業名 2024年度 切削速度900m/minを超える高速切削による炭素鋼のナノサイズ表面層の拡張可能性の探求 補助事業

補助事業者名 公立小松大学 生産システム科学部 朴 亨原

1 研究の概要

切削は製品形状を決定する最終工程であり、近年は生産効率向上を目的として高速切削技術が注目されている。しかし、従来の研究は切削抵抗や工具摩耗などの外的要因が中心であり、切削によって形成される表面層の組織や特性といった内部変化の解明は十分とは言えない。金属材料は高速切削時に表面温度が急上昇し、大きな塑性ひずみを受けることで、相変態や再結晶を伴う組織変化が生じる。この過程で形成される超微細な結晶粒は、従来の加工硬化組織に比べて安定性が高く、高強度・高延性を実現できる可能性がある。特に炭素鋼では、相変態点付近で加工熱処理を行うと、1-2 μ mの等軸粒が生成され、機械的特性が著しく向上することが報告されている。切削後の表面組織制御は、製品に新たな付加価値をもたらす手法として期待される。

本研究では、「超高速・強せん断加工熱処理」を応用し、ナノサイズの表面組織を持つ新たな高速切削プロセスの構築を目指す。

2 研究の目的

本研究の目的は、高速切削中に被削材に生じる超高速・強せん断加工熱処理を活用し、ナノサイズの表面組織を形成する新たな切削プロセスを開発することである。具体的には、炭素鋼S45Cを用い、切削速度を900~1730m/minの範囲で変化させながら、切削面の温度、切削抵抗、および表面組織の変化を詳細に調査する。これにより、ナノサイズの表面層が形成される条件を明確化し、その厚さや範囲の拡張可能性を評価することを目指す。

3 研究内容

(1) 切削挙動の分析

切削面の温度は、300m/minで800°Cに達し、600m/minを超えると相変態点を上回り、1600m/minでは約1100°Cとなった。本研究の温度測定値は先行研究よりも100~170°C高く、切りくずの温度に近い値を示していると考えられる。

切削抵抗は、低速域で増加後、240m/minで低下し、1300m/min超では再び上昇した。工具摩耗による抵抗増加が推測される。1000m/min以上では切りくずが青色(FeO)に変化し、800°C以上の温度に到達していると示唆される。これにより、相変態



図1 サーモグラフィーによる切削表面温度の可視化測定の様子

を伴う超微細粒形成の可能性が明らかとなった。

(2) 切削表面組織の分析

切削速度1164および1658m/minで加工したS45Cの表面には、深さ5~10 μ mのナノサイズ粒層が確認された。Backscattered electron (BSE) 観察では切削方向に沿ったメタルフローと、サブマイクロン粒の局所的存在が観察され、再結晶後の相変態による構造変化と推定された。

Electron Backscatter Diffraction (EBSD) 解析では、サブマイクロン粒に<001>方位、ナノ粒に<110>方位の集合組織が形成され、それぞれに特徴的な方位分布 (rotated cubeやせん断型相変態) を示した。

(3) 高速切削の有限要素解析

切削速度1164および1658m/minの条件でDeform-3Dを用いた解析を行い、表面から8 μ mまでの範囲でそれぞれ970 $^{\circ}$ C・1050 $^{\circ}$ C、ひずみ9・10.5、ひずみ速度約23万・25万 s^{-1} となった。これらの結果より、相変態が可能な高温・高ひずみ・高ひずみ速度の領域が表面近傍に限定されて存在し、ナノサイズ粒層の形成が生じていることが確認された。一方で、その層は浅く、深さ方向への拡張は限定的であることが課題として示された。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で明らかとなったナノ粒形成メカニズムと高温・高ひずみ領域の制御技術は、表面硬さや耐摩耗性、疲労強度の大幅な向上に寄与する可能性がある。将来的には、自動車、航空宇宙、金型産業において、熱処理レスの高機能加工プロセスとして実装が期待され、製造現場における高効率化と品質向上の両立に資する技術基盤となると考えている。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者はこれまで、鑄造、塑性加工、切削、熱処理といった多様なメタルプロセッシングを通じて、材料の組織制御および機械的特性の向上に関する研究に一貫して取り組んできた。特に、変形過程における相変態や再結晶といった組織変化、およびそれに伴う材料特性の変動の解明に注力してきた。

こうした背景のもと、切削は最終製品の形状や表面品質を決定づける重要な工程であるにもかかわらず、加工変質層の生成による材質劣化という本質的な課題を抱えている点に着目した。本研究では、これまで蓄積してきた知見と技術を応用し、切削を単なる除去加工ではなく、「高速加工と表面改質を融合した革新的なプロセス」として再構築することを目指している。

すなわち、本研究は、申請者の研究歴における「高速加工による組織制御と機能創出」という一貫したテーマの延長線上に位置づけられ、今後、新たな加工技術領域への展開を切り

拓くための重要なステップとなるものである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

学会発表 3件

- 1) 朴 亨原, 富澤 淳, 細川 晃, 柳本 潤, 上田 隆司, 集合組織の分析を用いて高速旋削されたS45Cの切削表面に形成された超微細粒の形成メカニズムの解明, 2024年度塑性加工春季講演会 2024年5月15日
- 2) Hyung-Won Park, Masaki Matsuda, Kanji Ishitaka, Shinichi Funase, Atsushi Tomizawa, Akira Hosokawa, Jun Yanagimoto, Takashi Ueda, Mechanism behind the creation of ultrafine grains at machined surface of 0.45% carbon steel during high-speed turning process, TMS 2025 Annual Meeting & Exhibition, 2025年3月25日
- 3) 朴 亨原, 舟瀬 真一, 細川 晃, 佐藤 悠治, 柳本 潤, 上田 隆司, 切削速度1000m/min以上のS45C高速旋削における切削表面の異なる超微細粒形成メカニズム, 2025年度塑性加工春季講演会 2025年5月 (発表予定)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

なし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 公立小松大学 (コウリツコマツダイガク)

住 所： 〒923-8511

石川県小松市四丁町又1-3

担 当 者： 准教授 朴 亨原 (パク ヒョンウォン)

担 当 部 署： 生産システム科学部 (セイサンシステムカガクブ)

E - m a i l : hyungwon.park@komatsu-u.ac.jp

U R L : <http://seisan.komatsu-u.ac.jp/advanced-production-engineering-lab/>