

研究論文

難切削鋼のレーザ援用切削における加工条件の検討

石川和昌^{*1}、河田圭一^{*2}

Study on Cutting Conditions with Laser Micro Machining of Difficult-to-cut Materials

Kazumasa ISHIKAWA^{*1} and Keiichi KAWATA^{*2}Industrial Research Center^{*1}

レーザにより被削材表面に微細な溝加工を施すことで、旋削加工時に切削抵抗の低減が可能となるレーザ援用切削を純鉄の加工に適用した。工具や切削液を変更して旋削加工を行い、切削抵抗低減効果を確認した。その結果、レーザ援用切削では工具形状により切削抵抗低減効果が異なることが分かった。また、レーザ援用切削により低粘度の切削液使用時も高粘度の切削液使用時と同様に、切削抵抗低減が可能であることが分かった。

1. はじめに

近年、環境やエネルギー問題への対策として自動車の電動化が急速に進んでいる。電動化による電子制御部品の増加に伴い、電磁弁の鉄心として使用される純鉄や電動ウォーターポンプのシャフト材料となる高炭素クロム鋼などの加工が増加すると見込まれている。純鉄は柔らかく粘性があるため、切削加工時の工具摩耗が増加する。高炭素クロム鋼は硬度が高く工具のチッピングが発生しやすい。また、電磁鉄心やシャフトなどは小径の円筒形状部品であり、旋削加工時に低速加工となるため、切削抵抗が増加し、工具寿命が低下するなどの課題がある。

本課題に対して、被削材表面にあらかじめ規則正しいテクスチャを施すことで鋸刃状切りくずの生成を促進し、切削抵抗を低減させる研究^{1,2)}が報告されている。当センターでは、企業、大学と連携して経済産業省の成長型中小企業等研究開発支援事業である「サブナノ秒レーザを用いた難切削鋼の切削性向上を図るレーザ援用切削加工技術および装置の研究開発」を実施してきた。

これまでの研究により純鉄や高炭素クロム鋼の加工において、レーザ援用切削を適用することで切削抵抗低減効果が得られることを確認している^{3,4)}。本報告では、純鉄の加工において工具や切削液を変更したときのレーザ援用切削の効果について検討した結果を記す。

2. 実験方法

2.1 レーザ加工と旋削加工

供試材は $\varphi 10.8\text{mm}$ の純鉄(ELCH2)を使用した。レーザ加工によりあらかじめ溝加工を施した材料を準備して

旋削加工を行うことで、レーザ援用切削による切削抵抗低減効果を調べた。

レーザ加工は波長 349nm、パルス幅 5ns のナノ秒パルスレーザ装置((株)東京インスツルメンツ製 LSP-2MS-P(NL))を使用した。倍率 10 倍、焦点距離 20mm の対物レンズを使用して、材料表面を焦点としてレーザを照射し、材料の長手方向にライン加工を行った。その後、加工ピッチに合わせて材料を回転させて、周方向に等ピッチでライン加工を行った。レーザ加工条件を表 1 に示す。レーザのショット間隔は発振繰り返し周波数と材料の長手方向の送り速度から計算した。

旋削加工は複合旋盤(オークマ(株)製 MULTUS B300)を使用した。旋削加工条件を表 2 に示す。主軸に取付けた回転式動力計(KISTLER 製 9123CQ05)に工具を保持して旋削加工を行い、主分力を測定して切削抵抗とした。各条件で 3 回切削抵抗を測定して平均値を求めた。

表 1 レーザ加工条件

パルスエネルギー	90μJ
ショット間隔	1μm
加工長さ (長手方向)	15mm
加工ピッチ (周方向)	1mm

表 2 旋削加工条件

切削速度	50m/min
送り量	0.08mm/rev
切込み量	0.1mm
加工長さ (長手方向)	15mm

*1 産業技術センター 自動車・機械技術室 (現総合技術支援・人材育成室) *2 産業技術センター 自動車・機械技術室

2.2 工具と切削液の検討

工具は表3に示す2種類の工具を使用した。母材やコーティングは同じであり、切刃部やチップブレーカ形状がLS-PとL-SSで異なる。切削液は表4に示す動粘度の異なる2種類の油剤をエアーと混合して吹き付けるミスト給油法を用いて使用した。

また、旋削加工時の工具位置を被削材の中心から前後に変えて加工することで、工具のすくい角を通常使用時の値より-3度から+1度まで変更して実験を行った。工具位置とすくい角の変更を図1に示す。

表3 使用工具

メーカー	三菱マテリアル(株)
型番	DCGT11T302M-LS-P (MS6015) DCGT11T302M-L-SS (MS6015)
母材	超硬
形状	55°菱形
コーティング	TiCN系積層コーティング

表4 切削液の仕様

メーカー	フジBC技研(株)	
型番	WB-60AM	LB-10
密度(g/cm ³ @20°C)	0.93	0.93
動粘度(mm ² /s@40°C)	60	8.9
引火点(°C)	310	214

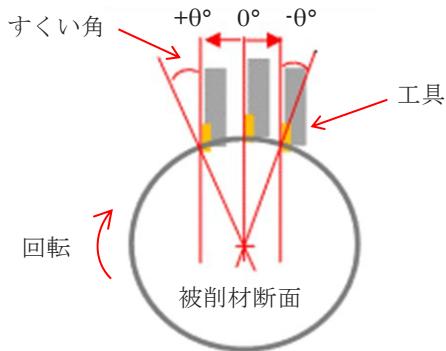


図1 工具位置とすくい角変更

2.3 切りくず観察と工具刃先測定

各条件で旋削加工したときの切りくず形状の違いをマイクロスコープ((株)キーエンス製 VHX6000)を用いて観察した。また、触針式粗さ測定機(アメテック(株)製フォームタリサーフ PGI840)を用いて使用前の工具刃先形状を測定して各工具の刃先丸みを比較した。

3. 実験結果及び考察

3.1 工具(LS-P)使用時の切削抵抗

工具(LS-P)を使用したときの各切削液での切削抵抗測定結果を図2、図3に示す。各条件において未処理材料

に対して、レーザ加工材料の切削抵抗は減少しており、レーザ援用切削による切削抵抗低減効果が得られた。すくい角変更値は-2度の条件において切削抵抗低減率が高い結果となった。一般的にすくい角を小さくすると切りくずの厚みが大きくなり、せん断領域が広がるため切削抵抗が増加する。一方、すくい角を小さくすると刃先強度は大きくなる。本実験において、すくい角を2度小さくした時に切削抵抗低減率が高くなったことから、レーザ援用切削により切削抵抗低減と刃先強度増加の両立が可能となることが示された。

切削液にLB-10を使用した場合、未処理材料での切削抵抗が大きくなかった。これはLB-10の動粘度が低く加工部の油膜が切れやすいためと考えられる。しかし、レーザ加工材料においては未処理材料より切削抵抗が減少しており、レーザ援用切削では低粘度の切削液を使用した場合も効果が得られることが確認できた。また、未処理材料の切削抵抗が大きいことから切削抵抗低減率は高くなかった。

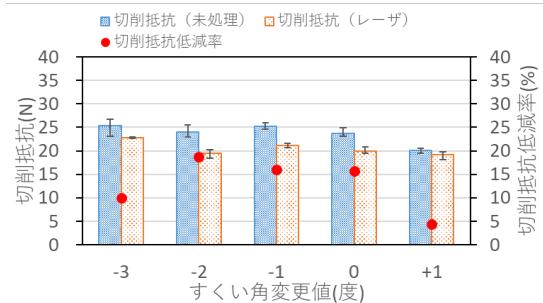
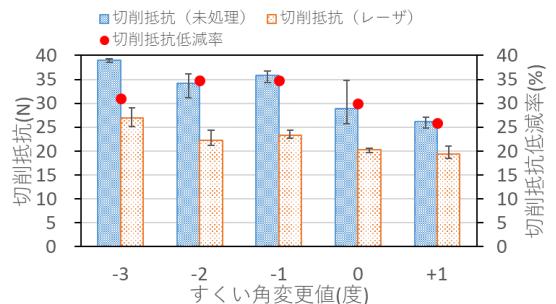


図2 WB-60AM 使用時の切削抵抗



すくい角変更値-2度と+1度のときの切りくず観察画像を図4、図5に示す。各画像は上が切りくず全体、下が切りくず断面の拡大画像である。未処理材料の切りくずは厚く不安定な切りくずとなった。すくい角変更値は+1度より-2度の方が切りくずは厚くなかった。切削液はWB-60AMよりLB-10の方が切りくずは厚くなかった。実験により切削抵抗が増加した条件において切りくず厚さも増加しており相関が見られた。レーザ加工材料の切

りくずは各条件共に薄く安定しており、切削抵抗が減少した実験結果と一致した。

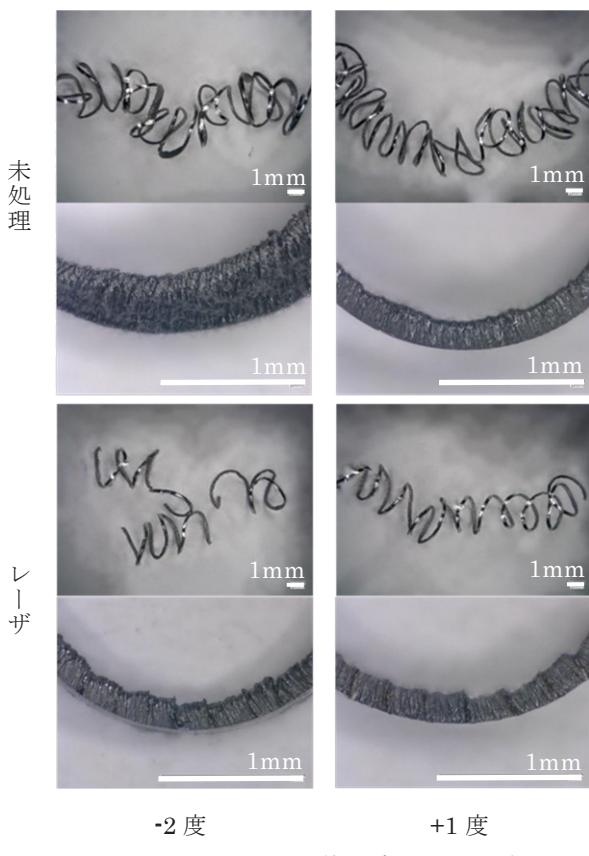


図 4 WB-60AM 使用時の切りくず



図 5 LB-10 使用時の切りくず

3.2 工具(L-SS)使用時の切削抵抗

工具(L-SS)を使用したときの各切削液での切削抵抗測定結果を図6、図7に示す。前述の工具(LS-P)を使用した結果と比較して、工具(L-SS)使用時はどの条件においても切削抵抗が小さくなかった。これは、主切刃部の角度が工具(LS-P)は6度であるのに対して、工具(L-SS)は14度となっており、工具(L-SS)のすくい角が大きいためと考えられる。

工具(L-SS)では未処理材料、レーザ加工材料どちらも切削抵抗が小さくなつたため、レーザ援用切削の効果はあまり見られなかった。

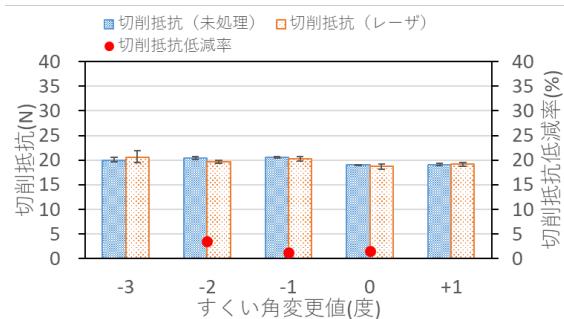


図 6 WB-60AM 使用時の切削抵抗

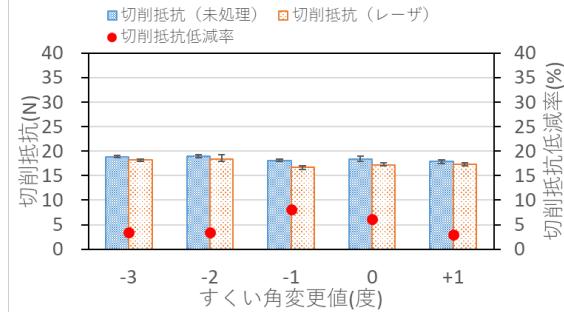


図 7 LB-10 使用時の切削抵抗

すくい角変更値が-2度と+1度のときの切りくず観察画像を図8、図9に示す。各条件において未処理材料とレーザ加工材料どちらも薄く安定した切りくずが見られ、切削抵抗が小さくなつた実験結果と一致した。

3.3 工具刃先の測定

工具刃先の形状測定結果を図10、図11に示す。測定結果から工具(LS-P)の刃先半径は4.7μmであり、断面形状に凹凸が見られた。対して、工具(L-SS)の刃先半径は2.1μmであり、断面形状は滑らかであった。工具(L-SS)はすくい角の違いに加え、刃先丸みが小さいため加工時の切削抵抗が小さく、安定した切りくずの排出が可能であったと考えられる。

実際の製品加工時は、摩耗により刃先丸みは大きくなり切削抵抗の増加が見込まれる。また、被削材に合わせて使用する工具の変更が必要であるが、レーザ援用切削は被削材に適用する技術であり、様々な加工において切削抵抗の低減が可能であると考えられる。

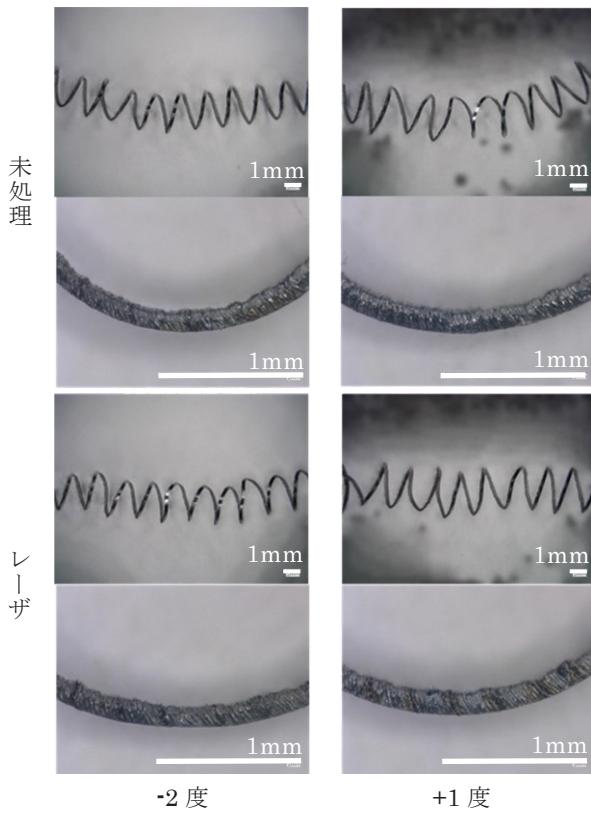


図 8 WB-60AM 使用時の切りくず

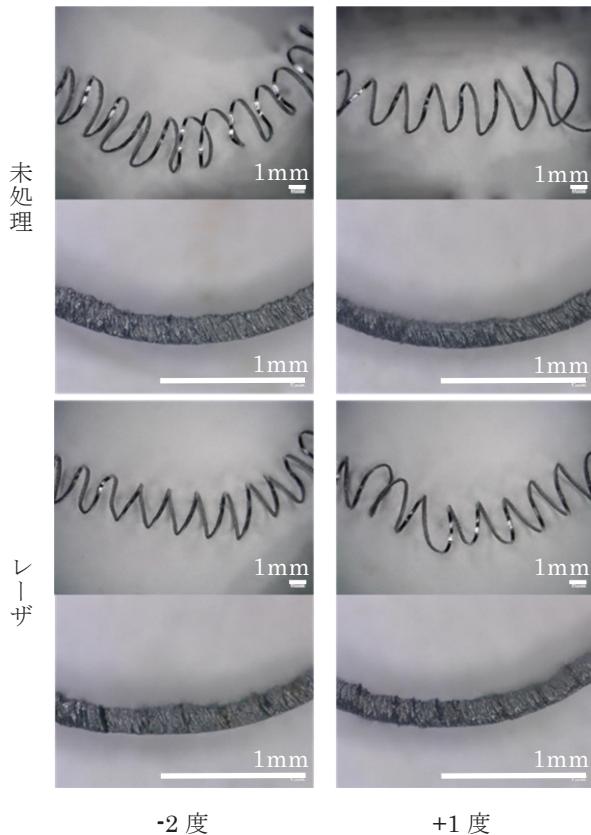


図 9 LB-10 使用時の切りくず

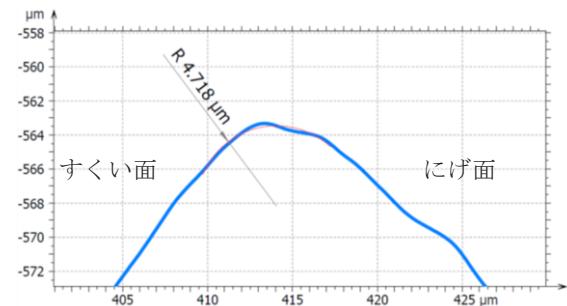


図 10 工具(LS-P)刃先形状測定結果

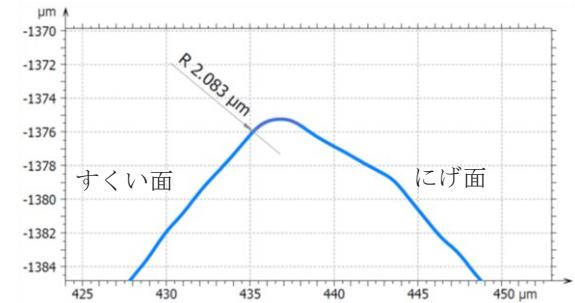


図 11 工具(LS-SS)刃先形状測定結果

4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) レーザ援用切削では、すくい角の変更により切削抵抗低減と刃先強度増加の両立が可能であることが分かった。
- (2) レーザ援用切削では、低粘度切削液のミスト給油使用時も切削抵抗低減が可能であることが分かった。
- (3) 刀先形状の違いにより切削抵抗や、レーザ援用切削の効果が異なることが分かった。

付記

本研究は、経済産業省令和6年度成長型中小企業等研究開発支援事業 JJP005698「サブナノ秒レーザを用いた難切削鋼の切削性向上を図るレーザ援用切削加工技術および装置の研究開発」で行った研究の一部である。

文献

- 1) 坂井亮太, 糸魚川文広, 二村友也: 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 183(2023)
- 2) 坂井亮太, 糸魚川文広, 前川覚, 二村友也: 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 150(2023)
- 3) 石川和昌, 河田圭一: あいち産業科学技術総合センター研究報告, 12, 38(2023)
- 4) 石川和昌, 河田圭一: あいち産業科学技術総合センター研究報告, 13, 64(2024)