

レーザ複合切削による創生面の摩擦特性（第2報） ： 切削における表面創生メカニズムと静止摩擦力に およぼす油剤粘度の影響

著者	田中 隆太郎, 井上 豪, 中川 智博, 細川 晃, 古本 達明, 上田 隆司
雑誌名	日本機械学会論文集C編 / Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen / Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C
巻	77
号	780
ページ	3193-3198
発行年	2011-01-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/31412

レーザ複合切削による創生面の摩擦特性（第2報）* （切削における表面創生メカニズムと静止摩擦力におよぼす油剤粘度の影響）

田中隆太郎^{*1}, 井上 豪^{*2}, 中川 智博^{*3}
細川 晃^{*1}, 古本 達明^{*1}, 上田 隆司^{*1}

Frictional Characteristics of the Surface Formed by Machining Combined with Laser Heat Treatment (2nd Report) (Surface Formation Mechanism at Cutting and Influence of Lubricant Viscosity on Static Frictional Force)

Ryutaro TANAKA^{*1}, Takeshi INOUE, Tomohiro NAKAGAWA
Akira HOSOKAWA, Tatsuaki FURUMOTO and Takashi UEDA

^{*1} Kanazawa Univ. Dept. of Mechanical Engineering
Kakuma-machi, Kanazawa-city, Ishikawa, 920-1192 Japan

The authors have reported that the micro wavy surface formed by machining combined with laser heat treatment have higher static coefficient of friction compared with the surface finished by polishing or cutting. Therefore, this study was carried out to clarify the surface formation mechanism in order to control micro wavy height and the influence of lubricant viscosity on static frictional force. In practical use, high viscosity lubricant is used in wet brake to prevent oil leakage. At cutting after laser heat treatment, when the higher thrust force was, the higher micro wavy height was obtained. Thus, decreasing cutting speed or increasing feed rate, the obtained micro wavy height became higher. The static coefficient of friction of surface finished by polishing was decreasing with lubricant viscosity. This tendency was also seen at micro wavy surface. However, the static coefficient of friction of micro wavy surface was constantly higher than polished surface regardless of lubricant viscosity.

Key Words : Laser Heat Treatment, Cutting, Static Frictional Force, Wet Type Brake, Lubricant Viscosity

1. 緒 言

著者らはこれまでに、レーザの照射による熱処理をおこない硬さの分布を不均一にした炭素鋼を、切り込み一定として切削加工すると切削加工前の硬さの分布に対応した表面高さの差が切削後の加工面に生成され⁽¹⁾、この表面が潤滑油による湿式環境において切削仕上げや研磨仕上げにより作成したサンプルと比較すると大きな静止摩擦力を示すこと⁽²⁾を明らかにしている。この効果は、湿式において位置を保持するためのブレーキ性能の向上に寄与できると考えられる。このような湿式ブレーキは粉塵や水などからブレーキやローターを保護するために、潤滑油で満たした空間に封入された構造となっており農業機械や建設機械などで用いられている。

本研究は、レーザ照射による熱処理をおこなった被削材を切削加工したときに表面高さに差が生じるメカニズムを解明することで表面高さの差を制御する方法を確立することと、湿式ブレーキは焼付きや液だれを防止するために粘度が高い潤滑油が用いられていることから、摩擦面間の潤滑油の粘度が静止摩擦力へおよぼす影響について調査することを目的として行った。

* 原稿受付 2011年4月19日

^{*1} 正員, 金沢大学 理工研究域 機械工学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

^{*2} 金沢大学大学院自然科学研究科, (現住友電気工業株式会社 (〒554-0024 大阪府大阪市此花区島屋1丁目1-3))

^{*3} 金沢大学大学院自然科学研究科

E-mail: r-tanaka@t.kanazawa-u.ac.jp

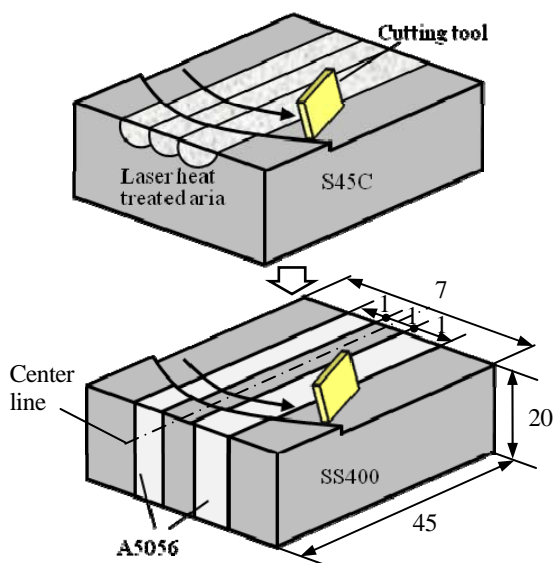


Fig. 1 Cutting model simulating cutting of laser heat treated workpiece

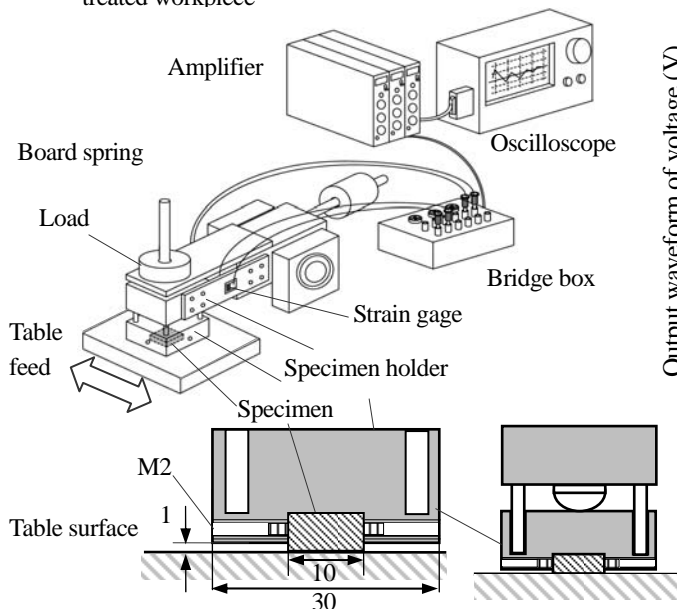


Fig. 2 Experimental setup for friction test

Table 1 Cutting conditions

Work	A5056(Hv45), SS400(Hv130)
Cutting speed: v	40~200 (m/min)
Feed rate: f	0.10~0.20 (mm/tooth)
Depth of cut: d	0.2 (mm)
Coolant	Machine oil (Tonna S 32)

Table 2 Laser irradiation conditions

Work piece	S45C (annealed)
Absorbent	Carbon powder
Laser power: Q	500 (W)
Pitch: P_t	0.6 (mm)
Scan rate: S	10.0 (mm/s)

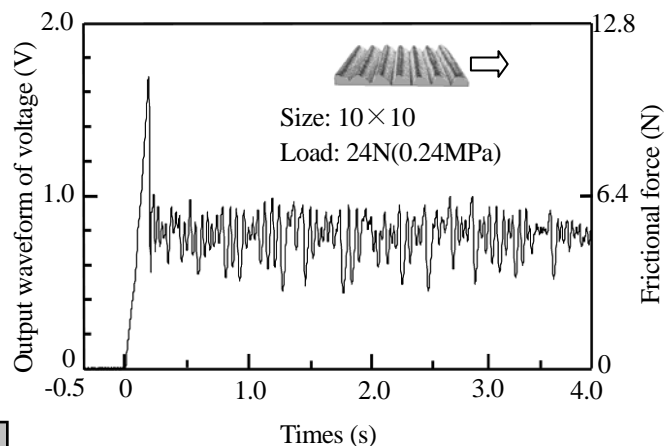


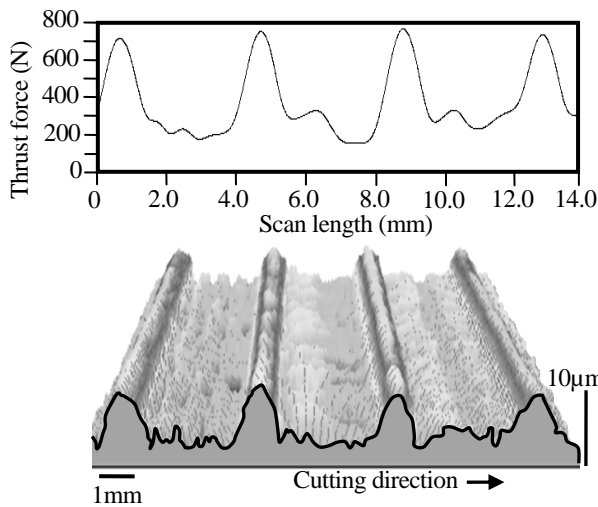
Fig. 3 Example of output signal in friction tests

2. 実験方法

2・1 レーザで熱処理された被削材をシミュレートした切削試験

図1にレーザで熱処理された被削材をシミュレートした切削モデルを示す。レーザ加工機により熱処理をおこない硬さを不均一にした状態で切削加工するときの切削条件と切削後の表面高さの関係を調べるために、交互に配置しバイスに挟み固定した硬さの異なる2種類の金属の切削加工をおこなうことによって評価を行った。実験では、幅1mm長さ45.0mmのA5056板(Hv45)およびSS400板(Hv130)を交互に配置・固定した状態で、被削材の長手方向の中央線とフライスカッタの中心を一致させ送りをかけて切削した。その仕上げ後の表面について粗さ測定器を用いて形状測定をおこなった。

表1に、本実験での切削条件を示す。コーテッド超硬工具K10(住友電工ハードメタル, SNMN120408)を直径100mmのカッタに取り付けて使用した。切削速度100~200m/min, 送り0.10~0.20mm/toothと変化させた。切り込みは0.20mmである。



Laser: power 500W, dir 1.0mm
 $v=100\text{m/min}$, $f=31.8\text{mm/min}$, $d=0.2\text{mm}$
 Fig. 4 Cutting force and shape of the specimen

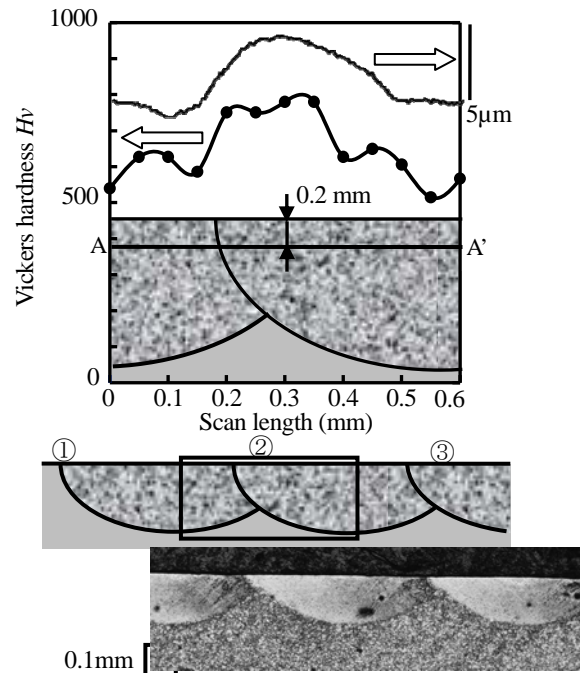


Fig. 5 Distribution of Vickers hardness and profile curve after cutting of heat treated carbon steel

2・2 静止摩擦力の測定方法

静止摩擦特性の評価は、マシン油(ISO VG10~220 相当)による湿式潤滑状態にて行った。これらのマシン油は基油であり添加材を含んでいない。レーザ熱処理後に切削加工した試料(レーザ複合切削)との比較の対象として研磨加工により表面を仕上げた試料も摩擦実験に使用した。炭素鋼 S45C の表面への熱処理は炭酸ガスレーザ加工機によりレーザビームを重複させて照射することにより行った。

表 2 にレーザ照射条件を示す。レーザ出力 500W、スポット径 1.0mm、走査速度 10mm/s で炭素鋼 S45C の表面に照射を行った。ビームモードはシングルモードの TEM00 である。炭素鋼の炭酸ガスレーザに対する吸収率が低いことから、レーザビームの吸収率を高めるために炭素鋼の表面にはカーボン系吸収剤((UNICON レーザーノンドロス 371))を塗布している。レーザ熱処理された炭素鋼を、切削速度 78.5m/min、切り込み 0.2mm、送り 0.1mm/tooth で正面フライス切削を行い、レーザ複合切削によるサンプルを作成した。

図 2 に往復式摩擦試験装置⁽²⁾の概略図を示す。およそ 10cc の潤滑油を滴下した表面(SCM435, 研磨仕上げ)に板ばねを組み込んだ保持部に専用のホルダを介し取り付けられている試料を静かに接触させ、これに垂直荷重を 36N (0.36MPa)負荷した後、1 軸移動ステージにより相手材(SCM435, 研磨仕上げ)へ直線運動をあたえることにより試料と相手材を移動速度 1mm/s で相対運動させた。試料の形状は 10mm 角であり、試料ホルダから 1mm 突き出した状態で M2 のねじで固定している。垂直荷重はおもりにより負荷した。試料と相手材の間に生じる摩擦力は試料保持治具に取り付けた板ばねに貼り付けた歪みゲージにより測定した。

図 3 に摩擦力測定における出力波形の一例を示す。移動ステージの送りが開始されると板ばねがたわみ出力信号の大きさが急増する。さらに移動ステージが進むと試料の相手材に対して移動を開始し出力信号が低下をして、そのあとはほぼ一定の値を示す。この送り開始直後に見られるピークの値から静止摩擦係数の算出を行なった。静止摩擦係数については 10 回の測定を行い、中央値 6 点の平均とばらつきを示した。

3. 実験結果および考察

3・1 レーザにより部分的熱処理された炭素鋼の切削特性

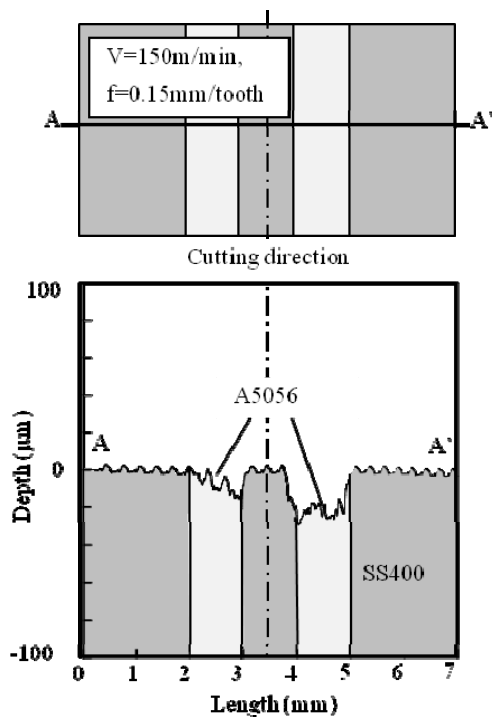


Fig.6 Cross section of SS400 and A5056 after cutting

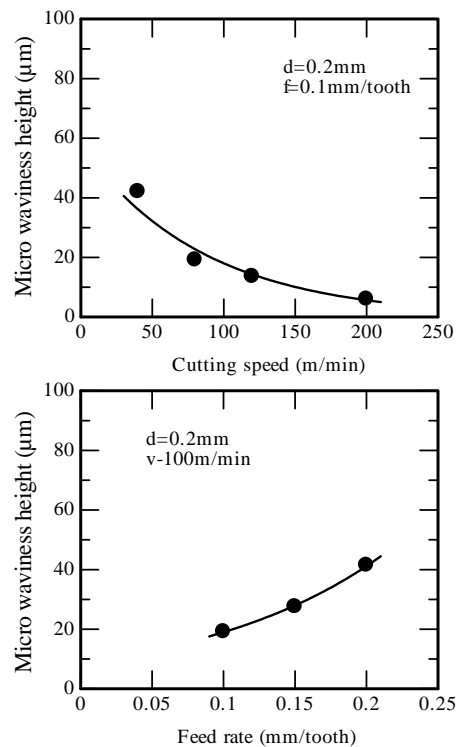


Fig. 7 Influence of cutting conditions on thrust force

図4にレーザにより部分的熱処理された炭素鋼を切削したときの背分力の変化と切削後の断面形状を示す。レーザ熱処理の影響を分かりやすくするために熱影響部が重複しないようにレーザを照射してある。レーザ熱処理された部分を切削しているときに背分力の値が大きくなっていることがわかる。このレーザ熱処理により硬さが高くなった部分は切削後に他の部分と比べて表面高さが高くなっており、切削後の高さや被削材の硬さがよく対応している。このように周期的に材料の硬度が変われば、切り込みを一定として切削しても背分力に周期的な変動が起こり切削後の表面高さに差が生じると考えることができる。

図5に重複してレーザを照射したときの炭素鋼の断面の硬さ分布と切削した後の断面形状を示す。図中の番号はレーザを照射した順序を示している。重複してレーザを照射したときの炭素鋼の硬さ水平方向の分布をみると、Hv700程度の部分とHv500程度の部分が交互あり、これはそれぞれ焼き入れ部分と焼き戻し部分であると考えられる。この硬さの分布は左右で対称性を示さないために、切削後の形状も非対称になっていると考えられる。しかし、切削前の硬さの分布と切削後の表面高さがよく一致していることがわかる。

硬度差を持つ材料を切削したときの高度差におよぼす切削条件の影響について調べるために、硬さが異なる2つの材料を同時に切削する方法で評価をおこなった。図6にA5056とSS400を重ねた被削材の切削後の断面形状を示す。SS400の部分に比べてA5056の部分の高さが低くなっていることがわかる。これはSS400の硬さがHv130であるのに比べ、A5056の硬さがHv45と小さいために背分力が小さく切れ刃の逃げが少なかったことによると考えられる。

ここでA5056についてみると切れ刃が被削材に入る側よりも中心線から出口側に近い方が高さの低下の程度が小さい。これは被削材の長手方向の中央線とフライスカッタの中心を一致させ送りをかけて切削すると、背分力は切れ刃が被削材に入ってから被削材の幅方向の中心まで増加し、中心を過ぎると減少する傾向を示す影響⁽³⁾⁽⁴⁾であると考えられる。SS400はA5056と比べ硬さが高いためにこの影響が顕著に現れていないと思われる。切削条件が切削後の表面高さへおよぼす影響については、この断面における最大の高さの差を比較することで切削条件の影響を調べた。

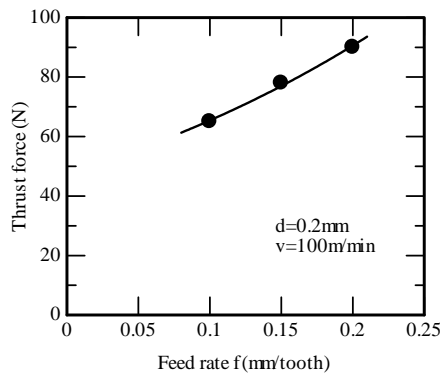
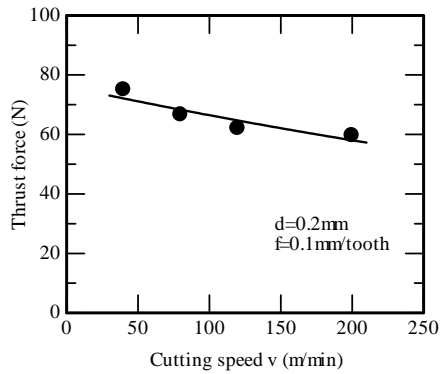


Fig. 8 Influence of cutting conditions on thrust force

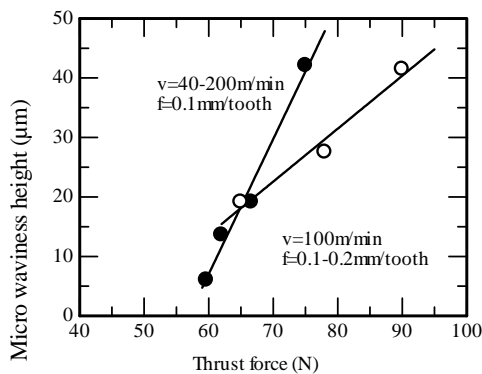


Fig. 9 Relationship between of micro waviness height and cutting force

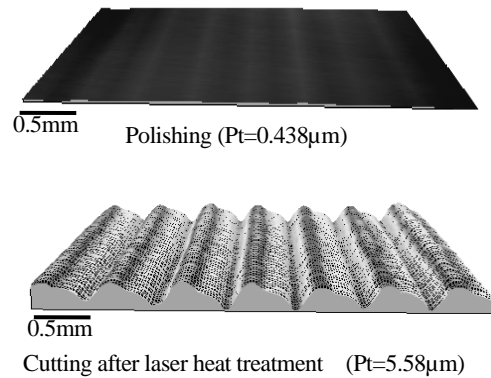


Fig.10 Shape and profile of the specimen

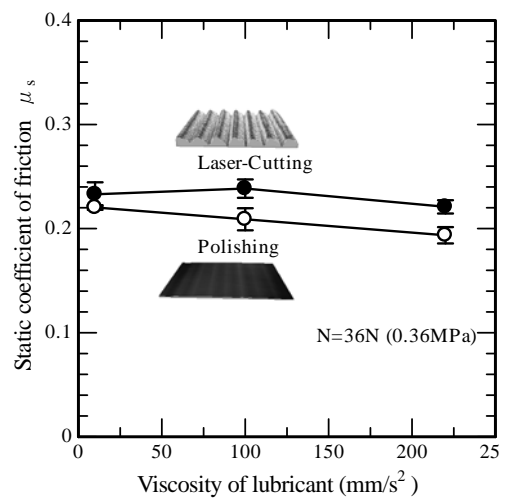


Fig. 11 Influence of oil viscosity on the static coefficient of friction force

図7に A5056 と SS400 を重ねた被削材の切削したときの切削条件の違いによる表面高さの変化量を示す。切削速度が増加するにもなって表面高さの変化量が減少する傾向がある。一方、送り速度が増加すると表面高さの変化量が増加する傾向にあることがわかった。

図8に A5056 と SS400 を重ねた被削材の切削したときの切削条件の違いによる背分力の違いを示す。背分力の値は SS400 を切削したときの最大値を示した。背分力は切削速度が増加するにもなって減少する傾向にあることがわかる。一方、送り速度が増加すると背分力が増加する傾向にあることがわかった。

図9に A5056 と SS400 を重ねた被削材の切削したときの背分力と表面高さの変化量の関係を示す。背分力は SS400 を切削したときの値である。全体的な傾向として背分力が増加すると表面高さの変化量が大きくなることがわかる。切削条件の中で切削速度や送りのみのようにパラメータをひとつだけ変化させた場合において、背分力と表面高さの変化量に高い相関関係が認められることがわかった。

以上のことから、硬さが不均一な被削材を切削した後に生じる表面高さの変化量は切削中の背分力が大きいほど大きくなることから、表面高さの変化量を増加させるためには、切削速度を小さく、送りを大きくすることが

必要である。ただし、切削速度が小さく、送りが大きくなると仕上げ面粗さが大きくなる傾向にあるので、適切な工具や切削油剤の選択を適切に行わなければならない。

3・2 レーザ複合切削により創生された面の摩擦特性と油剤の粘度

図 10 に静止摩擦力の評価をおこなったサンプルの表面形状を示す。レーザ複合切削によるサンプルの表面にはレーザ走査ピッチ(0.6mm)に対応した緩やかなうねり形状が確認できる。うねり形状の表面高さの最大差は5.58 μ mである。

図 11 に潤滑油の粘度と静止摩擦力との関係を示す。一般的に潤滑油は粘度が高くなるほど耐荷重能が大きい傾向を示すことが知られている。相對運動しようとする平面間に存在する潤滑油の粘度が大きくなると、2 平面が直接接触するのをさまたげようとする作用が大きくなるために潤滑油の粘度の増加にともない静止摩擦係数が減少する傾向⁶⁾があらわれたと考えられる。

レーザ複合切削したサンプルの静止摩擦係数へおよぼす潤滑油の粘度の影響をみると、平板間の摩擦と同じように、潤滑油の粘度が増加すると静止摩擦係数がやや減少する傾向が認められる。しかし、VG220 においても平板間の摩擦力と比べるとおよそ 10% 高い静止摩擦係数を示している。この一因として、レーザ複合切削したサンプルは非接触部分が接地面の外まで連続的に確保され潤滑油の粘度が高くなっても排出が可能であること、接触領域がうねりの頂点部分に限定されるために接触圧力が大きくなりその部分で油膜が破断し適当な直接接触領域が生じたことが考えられる。このように、レーザ複合切削により創生された表面は、焼付きや液だれを防止するために粘度が高い潤滑油が用いることが推奨される湿式ブレーキにおいても安定した保持力を発揮することが期待できる。

4. 結 言

本研究では、レーザ熱処理された被削材を切削加工すると緩やかな表面うねりを持つ形状が形成されるメカニズムを解明し、作成するうねりの高さをコントロールするために切削条件がうねりの高さへおよぼす影響について調べた。また、湿式ブレーキの媒体として用いる潤滑油の粘度が研磨仕上げした平面とレーザと切削の複合加工面の静止摩擦力へおよぼす影響について検討したところ、次に示す結論が得られた。

- (1) 硬度分布が均一でない被削材を切削するとき、背分力が大きくなる切削条件で切削したあとの仕上げ面における最大高度差が大きくなる。
- (2) 研磨した平面間の摩擦運動において平面間に潤滑油が存在する場合、潤滑油の粘度の増加にともない静止摩擦係数が減少する傾向にあり、レーザ複合切削による表面と平面の摩擦運動においてもこの傾向が認められるが、平板間の摩擦力よりもおよそ 10% 高い静止摩擦係数を示した。

謝 辞

本研究の遂行にあたり多大な支援をいただいた松本機械工業株式会社に記して謝辞を表します。

文 献

- (1) 田中隆太郎, 上田 隆司, 細川 晃, 林 勇伝, 山田 啓司, “CO₂ レーザによる鋼の表面改質層の被削性とその改善”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.3, No.727 (2007), pp. 879-784.
- (2) 田中隆太郎, 井上 豪, 細川 晃, 古本 達明, 上田 隆司, “レーザ複合切削による創生面の摩擦特性—静止摩擦における特性—”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.76, No.764 (2010), pp. 794-799.
- (3) Chung-Shin Chang, “Prediction of cutting forces for the milling of plain carbon steel using chamfered main cutting edge tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 105 (2000), pp. 302-326.
- (4) H.Z. Li, X.P. Li, “Milling force prediction using a dynamic shear length model”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.42 (2002), pp. 277–286.
- (5) F. P. Bowden and D. Tabor: *The Friction and Lubrication of solids*, Vol. 4 (1994), pp. 173, Oxford University Press.