

切削加工の高度化に関する研究：レーザアシスト加工および高機能表面の生成

著者	林 勇伝
著者別名	Hayashi, Yuden
雑誌名	博士学位論文要旨 論文内容の要旨および論文審査結果の要旨 / 金沢大学大学院自然科学研究科
巻	平成21年6月
ページ	231-238
発行年	2009-06-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/26942

氏名	林 勇伝
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第 1087 号
学位授与の日付	平成 21 年 3 月 23 日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第 4 条第 1 項)
学位授与の題目	切削加工の高度化に関する研究—レーザアシスト加工および高機能表面の生成—
論文審査委員(主査)	細川 晃(理工研究域・教授)
論文審査委員(副査)	上田 隆司(理工研究域・教授), 門前 亮一(理工研究域・教授), 平尾 政利(理工研究域・教授), 浅川 直紀(理工研究域・准教授)

Abstract

This study deals with High-Advancement in turning. In this study there are three different contents: (1) deals with the machinability of steels after heat treatment with CO₂ laser using h-BN power and blast furnace slug as absorbent. When turning the steels after laser heat treatment using h-BN power and blast furnace slug as absorbent, carbide tool showed smaller wear than the case of carbon type absorbent. (2) deals with the trial for improvement of chip controllability in turning with selective laser heat treatment for workpiece. In turning of these selective laser heat treated carbon steel, the chip form changed regular curl from irregular curl and chip breakability was improved compared with non-laser treated carbon steel. Surface roughness was obviously smaller compared with non-laser treated carbon steel. (3) deals with the influence of tool characteristics on the cutting edge temperature in turning case hardened steel and the influence of temperature on the surface white layer.

(1) CO₂ レーザによる鋼の表面改質層の被削性とその改善

1. はじめに

表面処理を行う際に工具摩耗を抑制する添加物を供給する点に注目した研究はこれまでのところ報告されていないため、本研究では、表面処理として CO₂ レーザを用いた熱処理に注目し、鋼表面に熱処理を行う際に必要とされるレーザ吸収剤の違いが、熱処理後の仕上げ切削における工具摩耗へ及ぼす影響について検討を行った。吸収剤が熱処理後に表面に付着しているため、吸収剤の違いが工具との摩擦状態へ影響を及ぼすことが考えられる。

2. 実験装置および方法

S45C 丸棒の外周部分を熱処理するために試料塗布後、CO₂ レーザ加工機を用いて、図 1.1 に示す方法で回転運動と長手方向への送りを与えながらレーザを連続照射することでらせん状に熱処理を行った。また被削材として既存のカーボン系および高炉スラクを用いての熱処理も行った。作成した 3 種の被削材の被削性を比較するために、図 1.2 のように CNC 旋盤を用いて、乾式で旋削加工を行った。工具は超硬工具 P30 を用いた。切削条件を表 1.1 に示す。切削抵抗の測定は AST 式切削工具動力計によって行い、工具摩耗は任意の時間毎に工具ホルダーから取り外し、すくい面摩耗は触針あらさ測定機で、逃げ面摩耗は工具顕微鏡を用いて計測した。

Table 1.1 Cutting conditions

Tool	Carbide tool P30(SNMM120408)
Cutting speed	$v=60\text{m/min}$
Depth of cut	$d=0.5\text{mm}$
Feed rate	$f=0.1\text{mm/rev}$
Coolant	dry

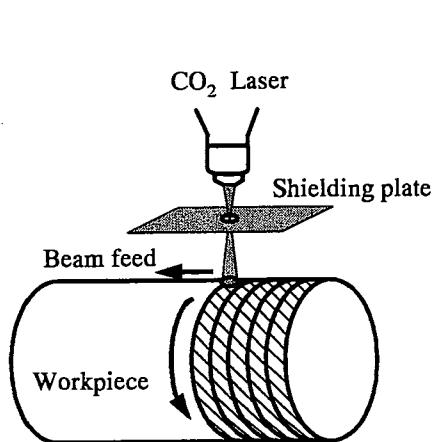


Fig.1.1 Process of laser heat treatment

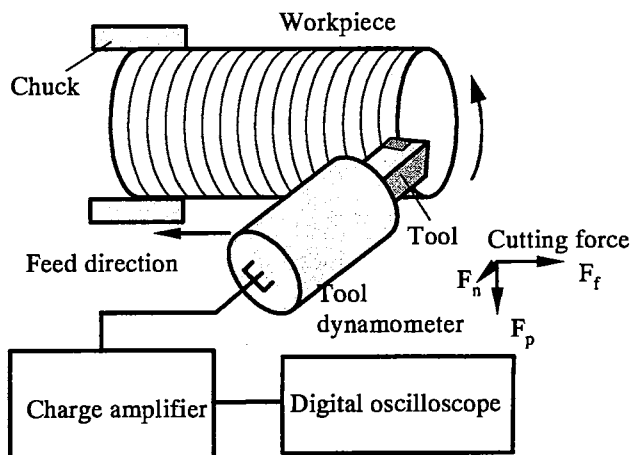


Fig.1.2 Experimental set up of cutting test

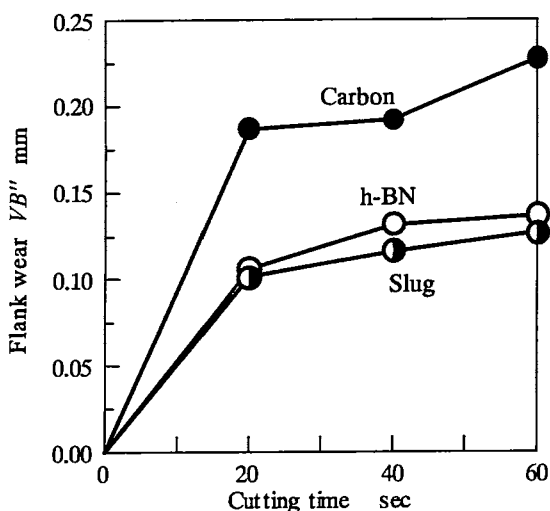


Fig.1.3 Wear progress curve of carbide tool P30

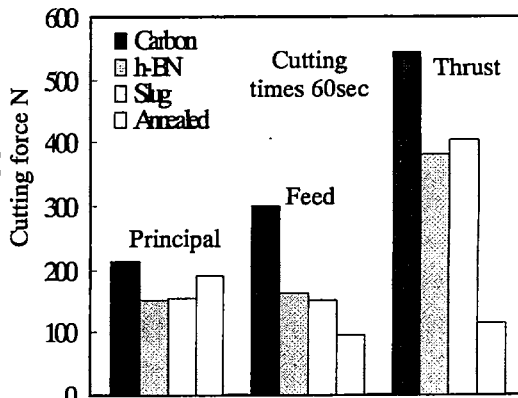


Fig.1.4 Cutting force when turning steels after laser heat treatment and standard steel

3. 実験結果

図 1.3 に各被削材切削時の工具摩耗進行線図を示す、図を見ると、いずれの工具も横逃げ面の境界部分の摩耗が進行しており、カーボン系レーザ吸収剤を用いて熱処理を行った被削材を切削した場合の摩耗が他の吸収剤を使用した場合より大きい。h-BN とスラグの差はほとんどない。図 1.4 に開始後 60sec における切削抵抗を示す。焼ならし状態の母材切削時と異なり、いずれの被削材切削時も背分力が他の分力と比べ大きいが、

これは高硬度材切削時の特徴である。カーボン系吸収剤と比較し h-BN とスラグで小さい抵抗を示すことが分かる。

4. 結論

- ① 鋼表面に塗布された h-BN 粉末、高炉スラグの CO₂ レーザに対する吸収率は 80%以上であり、いずれも吸収剤として使用することができる。
- ② カーボン系レーザ吸収剤を使用した場合と比べ、h-BN、高炉スラグを吸収剤としてレーザ熱処理を行った鋼の切削時の工具摩耗、切削抵抗が小さくなる。

(2) レーザ熱処理による切りくず処理性の改善に関する基礎的研究

1. 緒言

近年、レーザ発振器の小型化・高出力化に伴いその用途が拡大し、工作機械の複合化の傾向と相まって、例えば、レーザ発信器を備えたマシニングセンタとして積層光造形加工機など限られた用途ではあるが市場で広まりつつあり、その他の切削加工機械との複合化も期待される。そこで本研究では、Nd:YAG レーザを用いて被削材の選択的な改質による旋削加工時における切りくず処理性の改善を目的とし、一般的な機械構造用炭素鋼 S45C について実験を行った。実験では、旋削加工時における切りくず処理性、仕上げ面あらし、切りくずの厚さ、切削抵抗、切削温度および工具摩耗への影響について調査し、Nd:YAG レーザによる被削材の選択的な熱処理が切削機構へ与える影響について検討を行った。

2. 実験装置および方法

切削加工試験は、図 2.1 (a) に示す長手方向にレーザを連続照射した円筒状の被削材を、図 2.1 (b) に示すように長手方向へ旋削加工することで行った。レーザを用いて選択的な熱処理をした被削材を CNC 旋盤を用いて乾式長手旋削を行い、切りくず処理性などについてレーザ未照射の被削材と比較し評価した。表 2.1 に切削条件を示す。

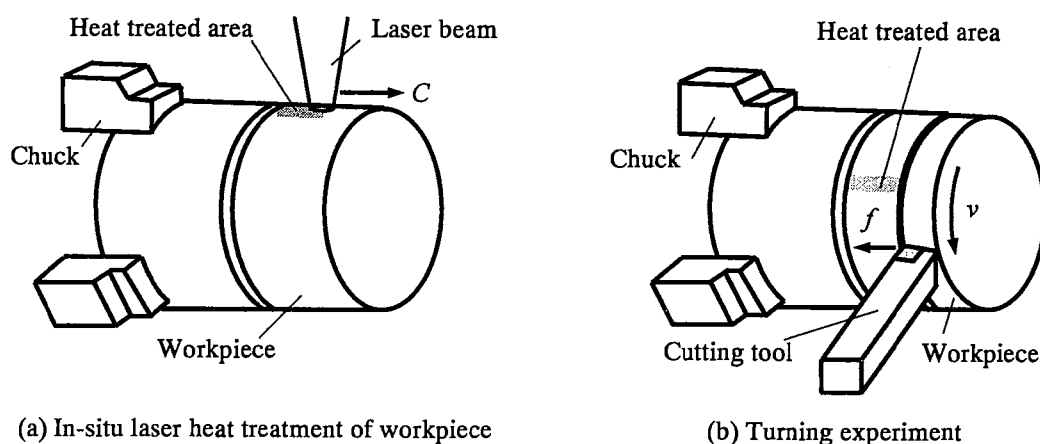


Fig. 2.1 Schematic illustration of experimental set up

Table 2.1 Cutting conditions

Workpiece	Carbonsteel: JIS S45C (Normalized)	
Cutting tool		
Insert	Carbide (P30), Cermet, Ceramics	
Geometry	ISO SNMN120408	
Operating parameter		
Cutting speed	v	100-200 m/min
Feed rate	f	0.1-0.2 mm/rev
Depth of cut	d	0.1 - 0.5 mm
Coolant	Dry	

3. 実験結果

図 2.2 に生成された切りくず形態を示す。切込みが 0.1~0.4mm でレーザー熱処理なしでは切りくずは折断されることなく連続であるが、レーザー熱処理後では切りくずがほぼ同じ長さで分断されている。図 2.3 に算術平均粗さ Ra と十点平均粗さ Rzjis を示す。いずれも 10 回測定を行った平均値である。Ra, Rzjis とともにレーザー熱処理なしと比べ明らかに小さい粗さを示す。

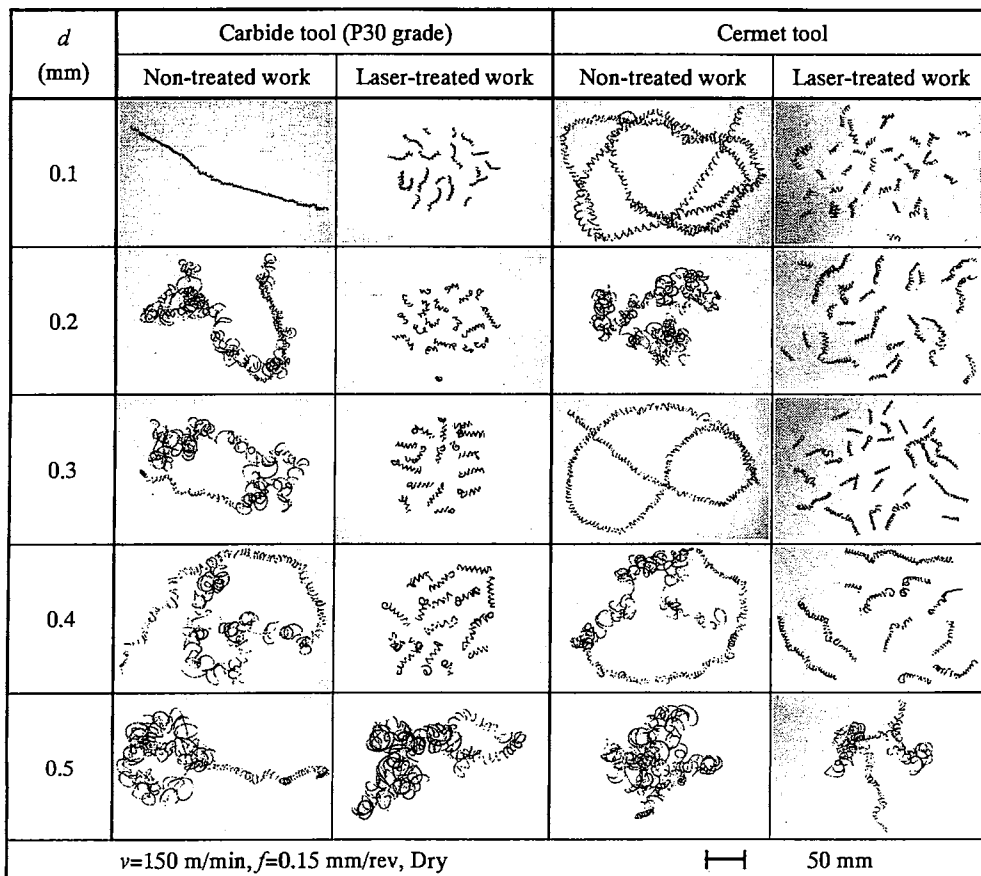


Fig.2.2 Change of chip form with laser heat treatment of workpiece and depth of cut

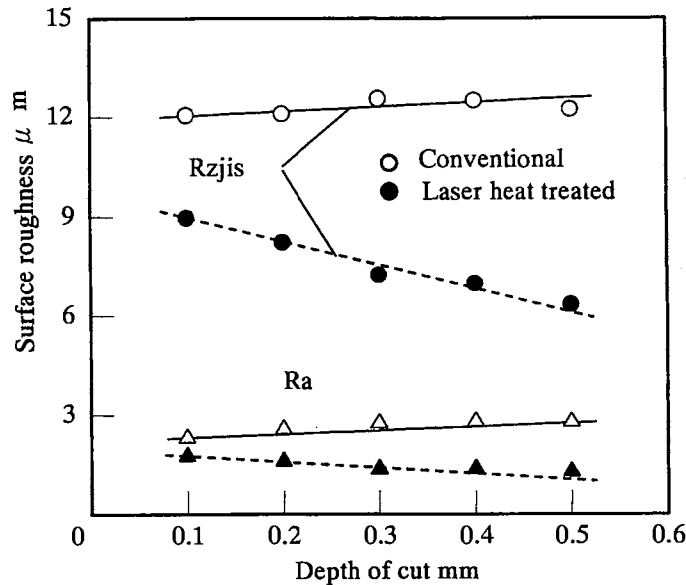


Fig.2.3 Influence of laser heat treatment on the surface roughness

4. 結論

Nd:YAG レーザと半導体レーザを用いた炭素鋼の部分的熱処理により，切りくず処理性の改善が可能である。

(3) 焼入鋼旋削時における高機能化表面の生成に関する研究

1. 緒言

CBN 工具を用いた焼入鋼の切削加工においては，表面に白層と呼ばれる加工変質層が形成されるが，この白層の硬度は高いものの脆く剥離しやすい，部品の耐久性や信頼性が低下するため，できるだけ生成させないことが望ましい。そこで，光カプラ型 2 色温度計を用いて，焼入れ鋼の旋削における CBN 工具の刃先逃げ面温度を測定し，切削速度，工具摩耗幅と工具刃先逃げ面温度が白層厚さへ及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験装置および方法

図3.1に旋削実験装置の概略図を示す。実験では，CNC旋盤のチャックにボーリングバイトを取り付け，刃物台に固定されたシリンダ状の被削材の内面を切削した。工具逃げ面温度の測定には，光カプラ型2色温度計を使用した。この温度計では，検出波長域の異なる2つの光電変換素子の検出波長域が異なるため，2つの素子からの出力の比を取ることによって温度に換算することができる。光ファイバによって，切削中の工具刃先が小孔の下を通過するとき刃先逃げ面から放射された赤外線を受光する。工具1回転あたりの送り量が小さいため工具刃先が1つの小孔の下を数回通過することになる。これらをすべて計測し，平均した温度を測定値として採用する。表3.1に切削条件を示す。

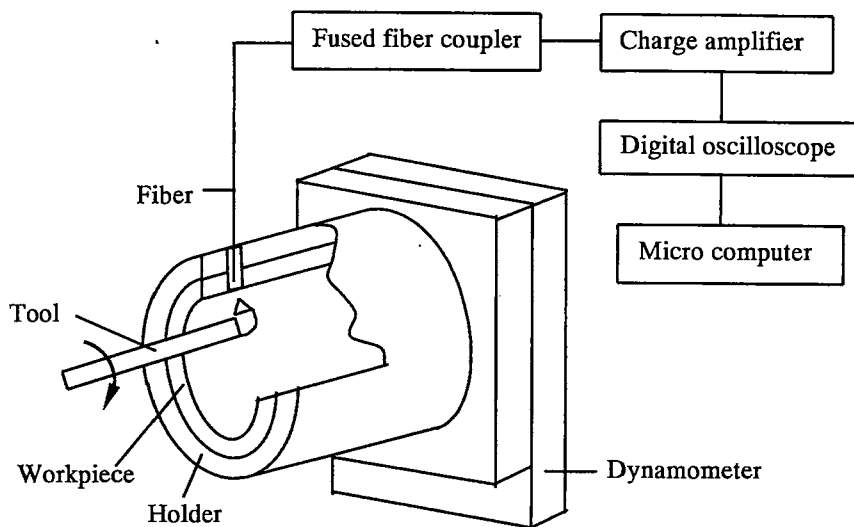


Fig.3.1. Schematic illustration of experimental set-up

Table 3.1 Cutting conditions

Workpiece	SCM415
Tool	CBN1, CBN2, CBN3, CBN4, ceramic, CBN1+TiN, CBN1+TiAlN
Flank wear width(mm)	0, 0.05, 0.1
Naga land angle (°)	15, 25, 35
Nose radius (mm)	0.4, 0.8, 1.2
Cutting speed (m/min)	100 ~ 200
Feed rate (mm/rev)	0.08 ~ 0.2
Depth of cut (mm)	0.1, 0.2, 0.3
Coolant	Dry

3. 実験結果

図3.2に切削速度における工具刃先逃げ面の温度の測定結果を示す. 逃げ面摩耗の影響を見ると, $VB=0\text{mm}$ と $VB=0.05\text{mm}$ の工具の場合は工具刃先逃げ面の温度があまり変わらず, ほぼ同じだと見えるが, 摩耗が大きくなり $VB=0.1\text{mm}$ の場合は工具刃先逃げ面の温度がかなり高くなっており, 切削速度は 150m/min を超えると工具刃先逃げ面の温度が急激な上昇することが分かった. 図3.3に工具刃先逃げ面の温度と白層厚さを示す. 図によって, 逃げ面摩耗 $VB=0.05\text{mm}$ の場合は工具刃先逃げ面の温度 815°C くらいまで温度が上がるほど白層厚さが大きくなり, その後白層厚さが温度の上昇に伴い, 小さくなる. 逃げ面摩耗 $VB=0.1\text{mm}$ の場合も同じ傾向であり, 工具刃先逃げ面の温度 835°C くらいまで温度が上がるほど白層厚さが大きくなり, その後白層厚さが温度の上昇に伴い, 小さくなるこの結果によって白層厚さが温度の上昇に伴い, 増大し続けるのではなく, 温度($815^{\circ}\text{C}\sim 835^{\circ}\text{C}$)付近でピークを示しその後減少する傾向があることが分かった.

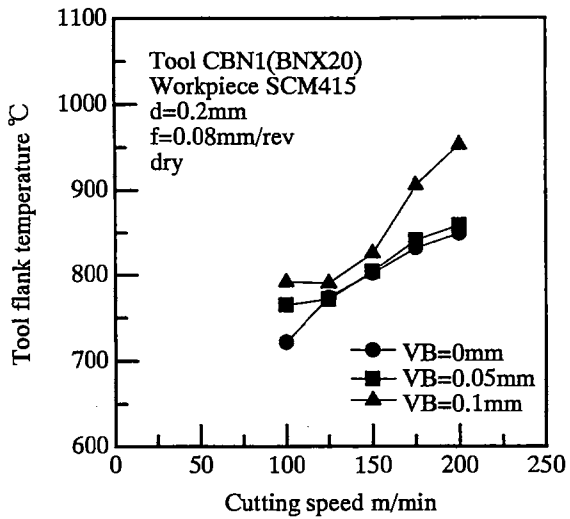


Fig.3.2 Relationship between cutting speed and tool flank temperature

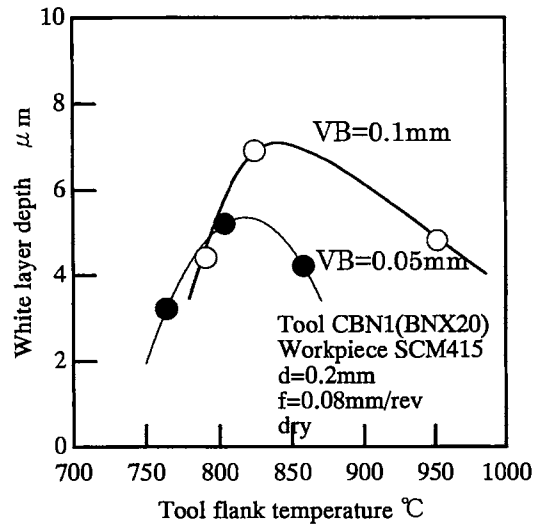


Fig.3.3 Relationship between white layer depth and tool flank temperature

4. 結論

- ① 切削速度は、工具逃げ面温度に大きな影響を及ぼし、高速になるほど工具 逃げ面温度が上昇する。また、工具逃げ面摩耗幅が大きいほど、工具逃げ面温度が高くなる。
- ② 白層厚さが温度の上昇に伴い、増大し続けるのではなく、材料の再結晶温度付近でピークを示しその後減少する傾向があることが分かった。

学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に関し、平成 21 年 2 月 2 日に第 1 回学位論文審査会を開催し、提出された学位論文および関連資料について詳細に検討した。更に、平成 21 年 2 月 3 日の口頭発表後、第 2 回審査委員会を開催し、慎重に協議した結果、以下の通り判定した。

本研究は切削加工の高度化を目的として、レーザビームによる表面改質と切削加工を組み合わせた 2 種類の“レーザアシスト切削”を提案するとともに、高硬度鋼の切削面表層に形成して部品としての機能を消失させる“白層”の生成機構とその低減化について検討している。まず、hBN あるいは高炉スラグを塗布した炭素鋼に CO₂ レーザを照射してレーザ焼入れを行うと同時に、極表層部の切削除去層のみに快削性を付与する加工法を提案している。また、旋削加工において鉄系工作物長手方向に半導体レーザを照射することによって局部的に硬化かつ脆化させれば、チップブレーカなしに切りくずを折断できることを実証している。さらに、逃げ面摩耗幅や熱特性の異なる幾つかの cBN 工具を用いた焼入れ鋼の旋削を行い、白層の生成要因が切削温度と加熱時間の相乗的な効果によって決まることを明らかにし、高機能面を維持するための切削条件を示している。

以上のように、本論文は工学の分野に対する貢献度が高く、また学術的価値が高いと評価でき、その内容は博士（工学）論文に値すると判定する。