

メタルボンドダイヤモンド砥石のレーザツルイーニングに関する基礎的研究

Fundamental Study on Truing of Metal-bonded Diamond Wheel

○細川 晃*, 鈴木康昌**, 田中隆太郎*, 古本達明*, 上田隆司*

*金沢大学理工研究域機械工学系, **金沢大学大学院自然科学研究科

Akira HOSOKAWA*, Yasumasa SUZUKI**, Ryutaro TANAKA*, Tatsuaki FURUMOTO*, Takashi UEDA*

*Faculty of Mechanical Engineering, Kanazawa University

**Graduated School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

Key Words: Metal-bonded diamond wheel, Laser truing, Wheel topography, Graphitization Truing height

1. 緒言

超砥粒砥石と称されるダイヤモンド砥石やCBN砥石は耐摩耗性・耐熱性に優れているため、硬ぜい材料や焼入れ鋼などの研削に使用される。しかしながら、その特性を有効に利用するためには、砥粒先端を揃えて砥石の振れ回りを除くツルイーニングと砥石作業面から結合剤を除去して砥粒を突き出させるドレッシングを周期的に行い、砥石の研削能を維持しなければならない(図1)。しかしこれらの作業には多大な時間と労力を要し、生産能率上大きな問題となっている。

このような背景の下、筆者らはNd:YAGレーザによるメタルボンドダイヤモンド砥石のレーザドレッシングを検討し、レーザと同時にエアジェットを吹き付けることによって、砥粒にダメージを与えることなく結合剤を効率的に除去することに成功した¹⁾。そこで本研究では次の段階として砥粒先端を除去するレーザツルイーニングの構築をめざし、電着小径砥石を用いた基礎的実験を行ったので以下に報告する。

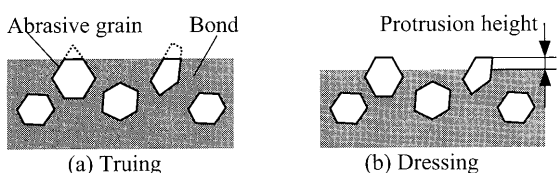


Fig.1 Laser conditioning of metal-bonded superabrasive wheel

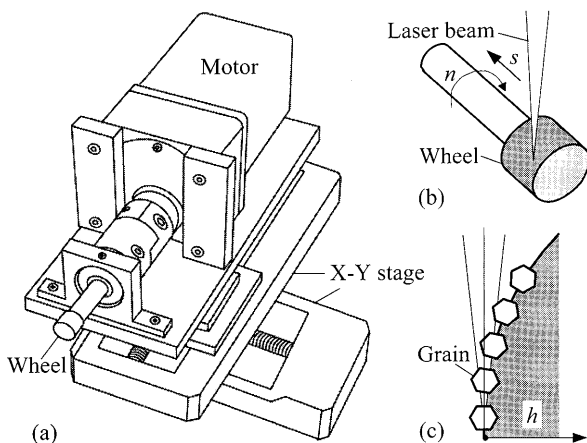


Fig.2 Experimental setup and truing parameters

2. 実験方法および実験条件

ダイヤモンドはその波長が0.6~3.0 μm の光のほぼ70%を透過する。そこで、波長1.064 μm のNd:YAGレーザによるツルイーニングの可能性を検証するためダイヤモンド単結晶にレーザを照射し、穴および溝の形成を試みた。その結果、極短パルスのQスイッチNd:YAGレーザを照射すれば、ダイヤモンド表面が黒鉛化してレーザの吸収率が上昇し、その後のレーザ照射によって熱的に除去できることを確認した。

図2にレーザツルイーニング実験装置を示す。実験は粒度#60(粒径 $\approx 200 \mu\text{m}$)の電着ダイヤモンド砥石を使用した。図(b)に示すように、回転する砥石の接線方向からレーザを照射し、砥石を軸方向に送ることによってツルイーニングを実現する。砥粒に与える熱負荷はレーザパワー Q が一定の場合、パルス周波数 $f(\text{Hz})$ 、砥石回転速度 $n(\text{rpm})$ 、軸方向送り $s(\mu\text{m}/\text{rev})$ に依存する。今回は f/n および s を一定とし、 f とレーザの照射位置 $h(\mu\text{m})$ がツルイーニング量(砥粒先端の除去深さ) Δr に及ぼす影響を検討した。なお、図(c)に示すように、 $h>0$ においてもレーザがボンド面に直接照射されることはない。砥粒の除去量は部分的にツルイーニングした後SiCをブランジ研削し、工作物に転写された段差を測定することにより評価した。表1にツルイーニング条件および研削条件を示す。

3. 実験結果

3-1 砥石作業面

図3にツルイーニング前と(ツルイーニング→研削)後の砥石作業面の写真を示す。図(b)の黒くなった部分がレーザを走査し

Table 1 Truing conditions

Laser		Q-switch Nd:YAG
Wavelength	$\lambda, \mu\text{m}$	1.064
Frequency	f, kHz	1, 5
Pulse width	$\tau, \mu\text{s}$	90 (1 kHz), 88 (5 kHz)
Laser power	Q, W	20
Oval beam spot	$a \times b, \text{mm}$	0.109×0.228
Power density	$q, \text{kW}/\text{mm}^2$	10.8 (1 kHz), 8.4 (5 kHz)
Operation parameter		
Irradiation position	$h, \mu\text{m}$	0, 24, 50
Axial feed	$s, \mu\text{m}/\text{rev}$	10
Revolution speed	n, rpm	30 (1 kHz), 150 (5 kHz)
Grinding wheel		MDP60EP ($\phi 10$)
Workpiece		SiC (Normally Sintered)
Wheel speed	$v_s, \text{m/s}$	5.37
Work speed	$v_w, \text{m}/\text{min}$	0.26
Depth of cut	$a, \mu\text{m}$	20

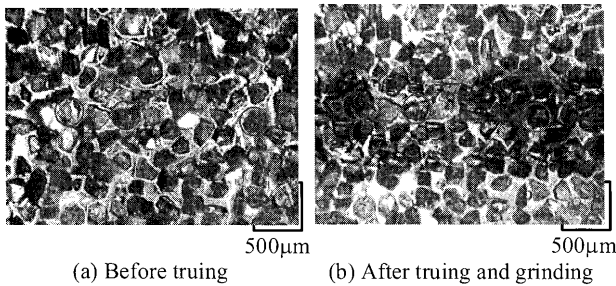


Fig.3 Change of grinding wheel surface with truing and grinding

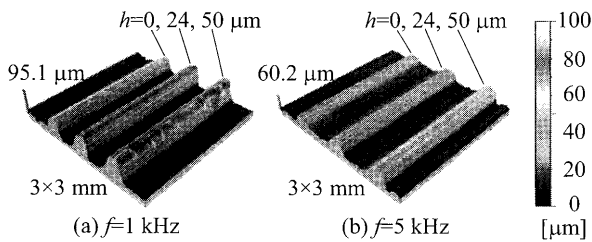


Fig.4 3D profiles of workpiece surface after plunge grinding

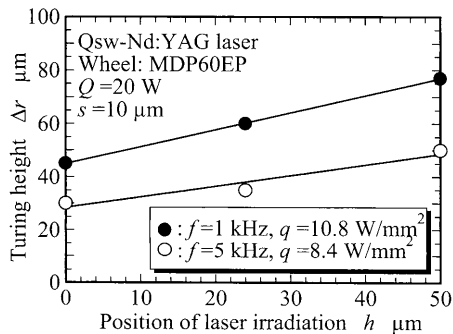


Fig.5 Influence of position of laser irradiation on truing height

た領域であるが、ダイヤモンド砥粒表面が黒鉛化しているのがわかる。また、硬度の高いSiCを研削した後も砥粒の破砕・脱落がみられないことから、レーザー照射による結合剤(電着基材)への熱的なダメージはほとんどないと考えられる。

3-2 ツルーイング量

図4に部分的(砥石軸方向におよそ400 μ m幅の帯状)にツルーイングした後の砥石で常圧焼結SiCをプランジ研削したときの仕上げ面プロファイルを示す。ツルーイングされた砥石作業面は後退するため、図の凸部の高さがツルーイング量 Δr となる。図にみるように、レーザー照射位置 h およびレーザー周波数 f によって Δr が変化していることがわかる。また、すべてのツルーイング条件においてほぼ一様に溝が形成されていることから、ツルーイング精度も良好であるといえる。

図5はレーザー照射位置 h が Δr に及ぼす影響を示したものである。使用したレーザー発振器の特性により f によってエネルギー密度 q が変化してしまうため $f=1$ kHzの方が除去量が多くなり、 $h=0$ μ mのとき $\Delta r=45$ μ mが得られている。これは平均砥粒径(200 μ m)のおよそ22.5%の除去量となり、ツルーイング後の砥粒突出し量は55 μ mと推定できる(砥粒埋め込み量50%)。したがって、この条件を基準ツルーイング条件とし、砥石全面のツルーイング実験を行った。

3-3 ツルーイング特性

図6にツルーイング前とツルーイング後の砥石でプランジ研削したSiCの仕上げ面プロファイルを示す。図(a)にみるように、ツルーイング後の砥石で創成された仕上げ面は凹凸が小さく、ツルーイングによって砥粒先端を揃えた効果が明確

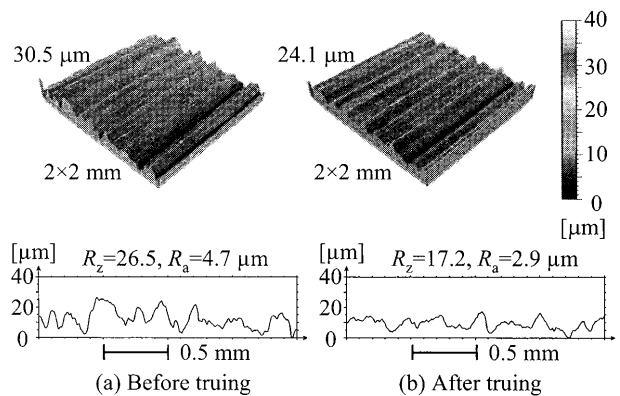


Fig.6 Effect of laser truing on finished surface

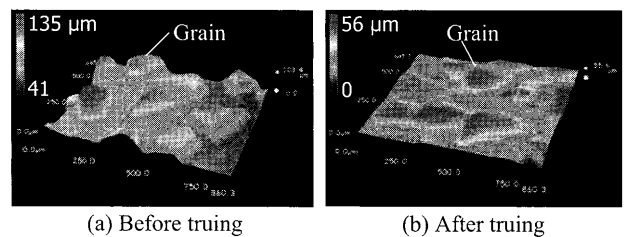


Fig.7 Effect of laser truing on 3D wheel topography

に表れている。また、図(b)の2Dプロファイルより、ツルーイング前後の砥石でそれぞれ仕上げ面粗さが $R_z=26.5$ μ m, $R_a=4.7$ μ mおよび $R_z=17.2$ μ m, $R_a=2.9$ μ mと良化していることがわかる。今回は10パスのプランジ研削の後、軸方向送りを与えた平面研削も数パス行ったが、砥粒の顕著な摩耗や破砕・脱落などは観測されておらず、電着基材への熱損傷を与えることなくダイヤモンド砥粒のみを除去することに成功したと評価できる。

図7はコンフォーカル顕微鏡によって測定したレーザーツルーイング前後の砥石表面の3次元プロファイルである。図より、レーザーツルーイングによって砥粒先端が平坦化され、砥粒高さが揃っている状況がみとれる。この3Dプロファイルより算出したツルーイング量はおよそ45 μ mであり、概ねねらいどおりの結果が得られている。レーザー照射位置の位置決め精度が不十分であることやレーザーのスポット径が砥粒と同程度の大きさがあることなどを考慮すると、比較的精度よくレーザーツルーイングに成功したものと考えている。

4. 結 言

電着ダイヤモンド砥石を用いてレーザーツルーイングの可能性を検討し、以下の結果を得た。

- (1) 極短パルスのQsw-Nd:YAGレーザーをダイヤモンド砥粒に照射するとその表層は黒鉛化してレーザーの吸収率が上昇し、その後のレーザー照射によって熱的に除去できる。
- (2) ツルーイング量はレーザー照射位置およびレーザー走査速度によって調整できる。レーザーのパワー、パルス周波数、砥石の回転速度を適切に設定すれば、結合剤にダメージを与えることなく高精度でツルーイングが可能になる。
- (3) ツルーイング後の砥石で創成された工作物仕上げ面は凹凸が小さく、ツルーイングによって砥粒先端を揃えた効果が明確に表れる。

参考文献

1) Hosokawa, A., Ueda, T., Yunoki, T., Laser Dressing of Metal Bonded Diamond Wheel, Annals of the CIRP, Vol.55, No.1 (2006), pp.329-332.