

北見工業大学 ○久保明彦 杉野 豪 田牧純一 北川武揚

要 旨

工具材の熱物性値は切削の諸現象に大きく影響し、 $\kappa\rho c$ の小さなほど短い切りくず接触長さ、高せん断角を伴い切削抵抗は減少するが、切削温度の最高温度位置は切刃に接近し、最高温度に大きな温度差を示さない。

1. まえがき

工具材熱物性の切削性に及ぼす影響については、低熱伝導性の材質ほど工具面温度は上昇するであろうとの推論のみで、その実証のみならず、被削材の切削諸現象に及ぼす影響についての詳細な解析がなされていない。本研究では、被削材種を固定し種々の熱的性質を有する工具材による切削試験を行い、切りくず生成、切削抵抗及び工具すくい面温度分布の実測から工具材熱物性が切削の諸現象に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

2. 供試材と切削方法

被削材は比較的熱伝導率の大きいS45C炭素鋼を、工具材には熱物性値の異なる Al_2O_3/TiC 黒セラミックス、TiNサーメット(T130A)、 Al_2O_3 白セラミックス、 Si_3N_4 窒化珪素、超硬P20、P40、K10、K20、焼結ダイヤモンド(DA150)を用いた。工具形状はすくい角 $\alpha=0^\circ$ 一定で、切削速度 $V=100, 200m/min$ 、送り(切削厚さ) $f=0.2mm/rev$ 、厚さ2mm円板の半径方向二次元乾切削を行った。

3. 実験結果と検討

3.1 工具材種による切りくず生成と切削抵抗の比較

図1は、各種工具材による切削で生成された切りくずカールの状態を示す。低熱伝導性工具材ほど切りくずカール半径は小さく、切りくず接触長さの短くなっていることが予測できる。図2(a)(b)は、同様に測定された切削幅当りの切削抵抗主分力 F_c 、背分力 F_t 、切りくず厚さ t_2 及び切りくず接触長さ ℓ_r で、横軸にすくい面応力を一様分布で仮定して切削抵抗合力の方向から計算された理論切りくず接触長さの2倍の値 ℓ_t をとってプロットしてある。実測切りくず接触長さ ℓ_r は、顕微鏡観察により切りくず擦過痕を測定したもので測定値に任意性があり、若干ばらつきがあるものの理論値 ℓ_t にほぼ1対1で対応している。切りくず厚さ t_2 及び切削抵抗 F_c 、 F_t も ℓ_t に比例して大きくなっている。また切りくず厚さ t_2 よりせん断角 ϕ を求め、これと切削抵抗より計算されるせん断応力 τ_s は工具材種、切削速度にかかわらず一定値($63.5kg/mm^2$)を

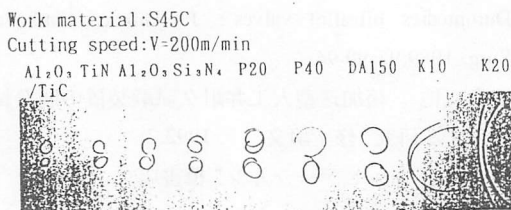


図1 各工具材種による切りくず生成

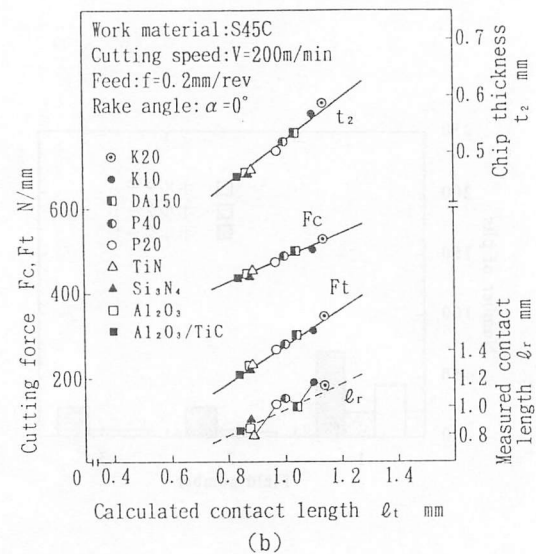
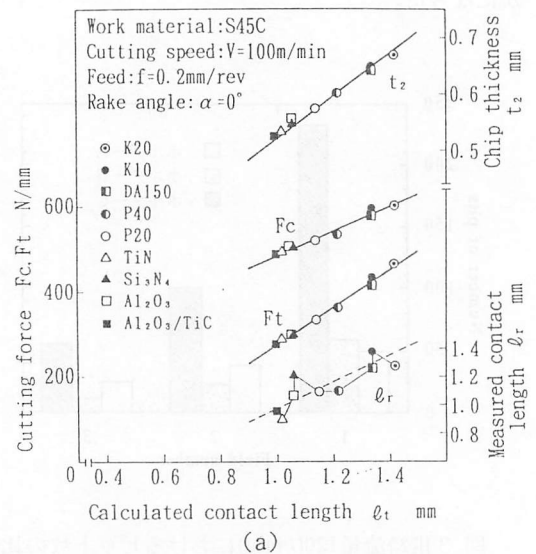


図2 各種工具材による切削の F_c 、 F_t 、 t_2 、 ℓ_r の比較

示している。図3は、各種工具材の常温における熱伝導率 κ 、比熱 c 、密度 ρ 、比熱容量 ρc 及び κ, ρ, c の積 $\kappa \rho c$ の値を $V=200$ m/minの ℓ_t に対応させてプロットしたものである。極端に κ が大きく、 ρc の小さいダイヤモンド工具の場合を除き（高温での κ はもっと小さいものと予測される）、使用した工具材の範囲では ρc に大きな差はないが、 κ の減少により c の上昇の傾向がみられ、 κ, ρ, c の積が小さいほど切りくず接触長さが短くなることわかる。M. C. Shaw¹⁾の平均温度 $\bar{\theta}_t$ の次元解析によれば切削の諸量、せん断応力 τ_s 、せん断角 ϕ 、せん断ひずみ γ 、切りくず接触長さ ℓ に変化がないとすれば、被削材の $\kappa \rho c$ の小なるほど平均温度 $\bar{\theta}_t$ が大きくなるが、以上の結果では工具材の $\kappa \rho c$ が小さいほど切りくず接触長さ ℓ は減少している。

3.2 各種工具材による切削の工具面温度分布

図4(a)は、微細タングステン線($\phi 25 \mu\text{m}$)を分割した工具中に埋込み、切りくず-タングステン線熱電対法²⁾により測定された各種工具材についてのすくい面温度分布を示す。工具材熱物性値 $\kappa \rho c$ の小さい材種ほど最高温度 θ_{max} を示す工具面上の位置は切刃側に接近して現れるが、これは $\kappa \rho c$ が小さいほど切りくず接触長さが短くなるためである。このための最高温度 θ_{max} の絶対値は超硬P20を基準としても $\pm 10^\circ\text{C}$ 程度の差でしかなく、工具材種により目立った θ_{max} の温度差は現れていない。図4(b)は、同様にセラミックス系工具材について求めた場合で、小さな $\kappa \rho c$ 及び切りくず接触長さの最も短い $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ 工具材では、むしろ最高温度は他のセラミックス工具材と較べて低めである。最高温度も図4(a)の超硬P20と較べてたかだか $\pm 20^\circ\text{C}$ でしかなく、工具材種により最高温度に大きな温度差のないことがわかる。

3.3 通常工具の切りくず接触長さを決定する要素

同一被削材の切削において ρc の値を同じにして、 κ の小さい工具材ほど工具表面の法線、接線方向共に温度勾配が急激で切りくず離脱部の温度は低くなる。低い温度では工具と切りくずの凝着が小さく作用してこの結果が切りくず接触長さを縮小し、切りくず生成にフィードバックしてせん断角 ϕ の増大と切削抵抗の減少の効果をもたらすと考えられる。切りくず接触長さの縮小による ϕ の増大はLee-Shafferの直線すべり線場モデル²⁾からも理論的に説明され、また強制的に切りくず接触長さを縮小した“拘束工具”による切削実験³⁾によっても明らかにされている。

4. まとめ

工具材の熱物性値は、切りくず接触長さ、せん断角及び切削抵抗に大きく影響し、 $\kappa \rho c$ の小なる材料ほど短い切りくず接触長さ、高せん断角を伴い切削抵抗は減少する。また $\kappa \rho c$ の小さい工具材ほど切りくず接触長さが短いため工具すくい面での最高温度位置は切刃に接近し温度の分布状態は大きく異なるが、 $\kappa \rho c$ の大きさは最高温度に大きな影響を及ぼさない。

参考文献

- 1) M. C. Shaw: Metal Cutting Principles, Oxford University Press, 1984
- 2) 白井英治: 現代切削理論, 共立出版, p. 16, 1990
- 3) 北川ほか: 精密工学会誌, Vol. 60, No. 9, p. 1284-1288, 1994

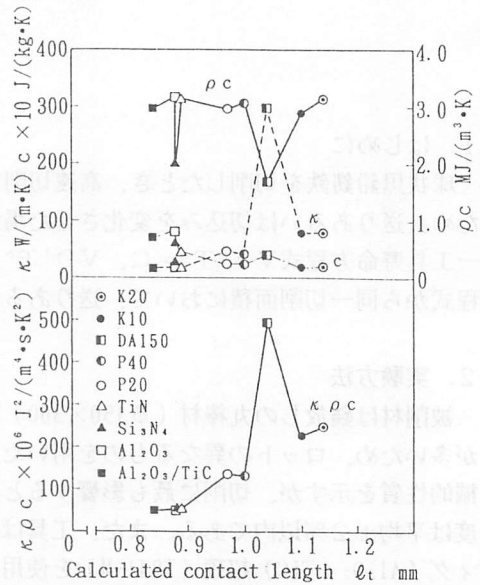
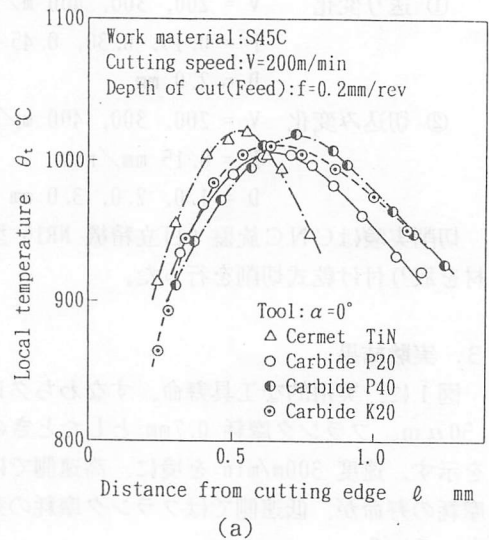
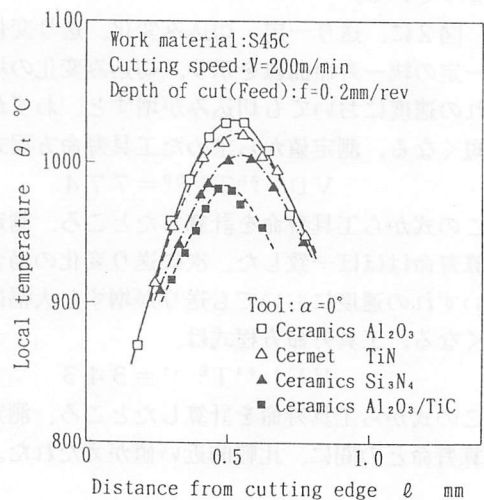


図3 工具材種による熱物性値の比較



(a)



(b)

図4 各種工具材による切削のすくい面温度分布