



接触面積拘束工具の切削性に関する研究： 工具切りくず接触長さと切削温度

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 菊地, 千之 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3719

接触面積拘束工具の切削性に関する研究

—— 工具切りくず接触長さと切削温度 ——

菊 地 千 之

A Study of Tools with Restricted Tool-Chip Contact Length

—— Variation of Cutting Temperature
with Restricted Tool-Chip Contact Length ——

Kazuyuki Kikuchi

Abstract

As reported in the previous papers by the author and others, artificial restriction of tool-chip contact length in machining with a cut-away tool causes a considerable increase in normal stress and then a decrease in the coefficient of friction on the tool-chip interface and results in an increase in shear angle and a decrease in cutting forces. These actions of the restricted contact tool may not be finished in themselves but have effects on tool life due to lowered cutting temperature and also on the quality of the finished work surface.

In this report a number of cutting temperature measurements are compared to those calculated by the M. C. Shaw & E. G. Loewen's method for the conventional tool with natural contact and those restricted with various contact lengths. Applicability of the calculation method is discussed and effectiveness of restricted contact length tool in practical use in view of cutting temperature are clarified.

I 緒 言

工具すくい面と切りくずとの接触面積を拘束縮小することによって、すくい面上の応力は増大するが、切削の摩擦係数は減少する。この結果せん断角は増大し切削抵抗は減少することについてはすでに報告した。接触面積拘束工具の上述の作用は当然切削温度を低下させ工具寿命に影響し、さらには仕上面に対しても影響を与えることとなる。

本報告においては、工具切りくず接触長さを変化させたときの切削温度変化および通常工具と接触面積拘束工具の理論切削温度を M. C. Shaw と E. G. Loewen¹⁾の解析結果から求め、この解析が適用できるかどうかについて検討し、切削温度の点から接触面積拘束工具の有用性について明らかにした。

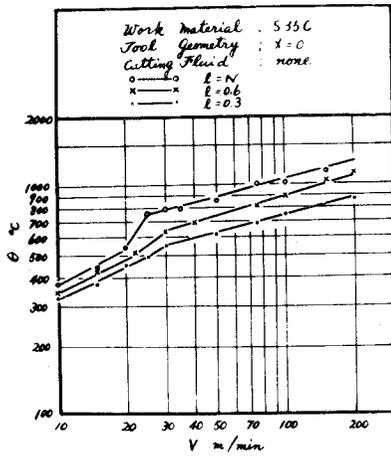


Fig. 4 Variation of Cutting Temperature (θ) with Cutting Speed (V).

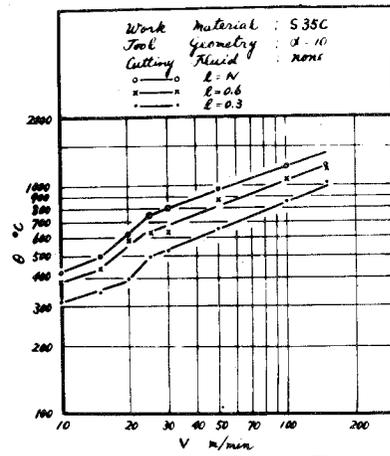


Fig. 5 Variation of Cutting Temperature (θ) with Cutting Speed (V).

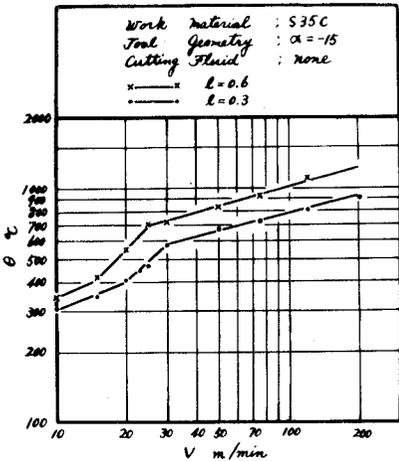


Fig. 6 Variation of Cutting Temperature (θ) with Cutting Speed (V).

このことは始めに述べたように、この切削条件では構成刃先生成領域の速度を含んでおり、同図の特異性も構成刃先による影響と考えられる。

Tabel. 2 に工具切りくず接触長さを変化させたとき、切りくず表面の観察から構成刃先の生成がみられない切削

くず塑性域の平均温度を測定している。同図から明らかなように、切削速度の増加に伴い切削温度は上昇し、工具切りくず接触長さが拘束縮小されることによって切削温度は順次減少している。

しかし、いづれの工具でも途中で折れ曲がる点が存在している。よく知られているように、切削温度と切削速度は大略次式の関係で近似される。

$$\theta_t \cong C \cdot V^n$$

ここで、 θ_t は切削温度、Vは切削速度、Cおよびnは定数である。しかしながら実験結果はいづれも低速度領域で上式との関係と異なっている。

Table II Disappearance of Built-up Edge.

Contact depth(mm)	Primary Rake(deg)	Secondary Rake(deg)	Cutting Speed(m/min)	Cutting Temp(°C)
l=0.3	10	35	100	850
	0	35	75~100	680~750
	-15	35	60~75	700
l=0.6	10	35	50~60	800~850
	0	35	60	780
	-15	35	50	820
l=N	10	0	50	950
	0	0	50	850
	-15	0		

速度とそれに対応する切削温度を示した。同表から明らかなように、得られた切削温度は鉄-炭素系状態図において $\alpha = -15^\circ$, $l = 0.3\text{mm}$ の拘束工具を除いては $\alpha-\gamma$ 変態点以上の温度を示している。被削材の炭素量は 0.342% であるから γ 領域の温度は約 815°C 以上となる。このように構成刃先は、切削速度の増加に伴い切削温度が上昇し γ 領域付近の温度に到達すると生長し得ないものと考えられる。

切削速度 15 mpm 付近からの特異現象は、この速度域付近で構成刃先がもっとも顕著に存在することは切削抵抗、切りくず裏面の観察から明らかであり、また鳴瀧³⁾らの研究によって切削温度 $400\sim 500^\circ\text{C}$ で凝着力が最大となるという報告と一致している。しかし、切削速度 15 mpm , 20 mpm 以下の領域では構成刃先があるにもかかわらず切削温度の理論値は実験値と良好な一致を示している。(後述)

しかしながら切削温度の特異性は切削抵抗の増加、および切削速度の増加にもかかわらず理論解析結果と一致しない。このことは切削温度測定において、構成刃先の存在により Fig. 7 に示したように工具-被削材が完全に密着していなくて構成刃先の切りくず側と工具側とで θ_A , θ_B で表わされる温度勾配が生じていると考えられる。

切削抵抗の極小点で構成刃先が最大の形状を示し、極大点で構成刃先がほぼ消失している。そのため構成刃先の層が厚くなると温度勾配が生じ、トムソン効果が起ると考えられる。切削抵抗極小点付近から構成刃先は再結晶を起し、切りくずが直接工具面上を亡っている状態となり、切削温度の立ち上がりは完了すると思われる。その後、工具-被削材熱電対は正常な状態になり切削温度の切削速度依存性を示すようになる。再結晶温度に相当すると思われる立ち上がり完了点は、すくい角変化に対して $l = N$ では 750°C , $l = 0.6$ では $600\sim 700^\circ\text{C}$, $l = 0.3$ では $500\sim 600^\circ\text{C}$ と順次減少している。このことによりすくい面摩擦応力は増大し、すくい面温度を高める方向になる。しかし同時にすくい面摩擦距離は短くなり、すくい面前方の扇形領域角は増大し、平均せん断角は大となるからこの意味ですくい面温度を下げる方向となる。それゆえ、全体として切削温度が低下する。したがって、構成刃先は接触長さが拘束縮小される程大きい応力を受けはずみ硬化が大きくなる。そのため $l = N$, $l = 0.6$, $l = 0.3$ と再結晶温度が低下すると考えられる。

III-2 切削温度の計算

切削温度の理論的解析は、R. S. Hahn⁴⁾, B. T. Chao および K. J. Trigger⁵⁾, M. C. Shaw およ

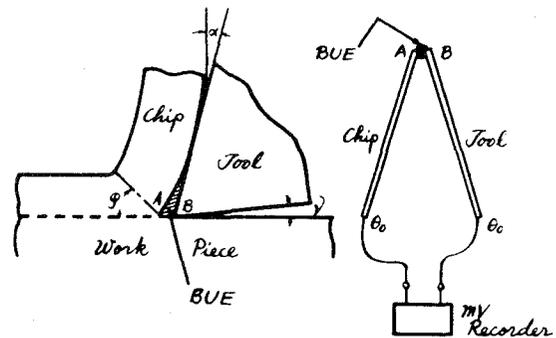


Fig. 7 Method for BUE in Tool-Work Thermocouple.

び E. G. Loewen¹⁾らによって行なわれている。これらのうち M. C. Shaw らによる解析結果を用いて切削速度変化に対する切削温度、および拘束接触長さ変化に対する切削温度の理論値と実験値の検討を行ない、理論解析の適用について検討を行なった。

M. C. Shaw らの解析によれば切削温度は次式で与えられる。

$$\bar{\theta}_t = \bar{\theta}_s + \Delta \bar{\theta}_f = \frac{R_1}{J \cdot \rho_1 \cdot c_1} U_s + R_2 \frac{0.377 q_2 \cdot a}{k_2 \cdot \sqrt{L_2}} + \theta_0 \dots\dots\dots ①$$

$$R_1 = \frac{1}{1 + \frac{0.663\gamma}{\sqrt{L_1}}} \dots\dots\dots ②$$

$$L_1 = \frac{V_s \cdot t}{4 \cdot K_1 \cdot \sin \phi} \dots\dots\dots ④$$

$$R_2 = \frac{\frac{q_2 \cdot b \cdot \bar{s}}{k_3} - \frac{R_1 \cdot U_s}{J \cdot \rho_1 \cdot c_1}}{\frac{0.377 q_2 \cdot a}{k_2 \cdot \sqrt{L_2}} + \frac{q_2 \cdot b \cdot \bar{s}}{k_3}} \dots\dots\dots ③$$

$$L_2 = \frac{V_c \cdot a}{4 K_2} \dots\dots\dots ⑤$$

ただし、 $\bar{\theta}_t$ = すくい面上の平均切削温度、 $\bar{\theta}_s$ = せん断面せん断変形に伴なう平均温度上昇、 $\bar{\theta}_f$ = すくい面摩擦による平均温度上昇、 θ_0 = 室温、 J = 熱の仕事当量、 ρ_1 = 切りくずの密度、 c_1 = $\theta_0 \sim \theta_s$ 間の切りくず平均比熱、 U_s = 単位切削容積当りのせん断面せん断エネルギー、 q_2 = すくい面の摩擦熱源強さ、 a = 刃面切りくず接触長さ、 $k_2 = \bar{\theta}_t$ における切りくずの熱伝導率、 γ = せん断面せん断ひずみ、 b = 切込み、 $S = b/a$ の関数、 $k_3 = \bar{\theta}_t$ における工具の熱伝導率、 V_s = せん断面せん断速度、 t = 送り、 ϕ = せん断角、 V_c = すくい面に沿った切りくずの流れ速度、 $K_1 = \bar{\theta}_s$ における切りくずの熱拡散率、 $K_2 = \bar{\theta}_t$ における切りくずの熱拡散率である。

本実験では被削材、工具、切削条件は M. C. Shaw のそれとは異なっているが、M. C. Shaw の解析結果にみられるように切削温度測定値と各測定値を代入して算出した理論切削温度がほぼ一致する点を見いだし速度の項のみを変化させた。計算に必要な物性値⁶⁾については、被削材

S 35 C に近似できる化学成分をもつ炭素鋼のものを採用した。

切削温度測定値と理論切削温度の比較を Fig. 8, Fig.9 および Fig. 10 に示した。Fig. 8 から明らかなように通常工具に対しては非常に良い実測値との一致を示している。Fig. 9, Fig. 10 にみるように接触面積拘束工具に対しても計算値と実測値は良い一致を示している。特に低速領域では計算値の傾向に良く追随している。理論計算において

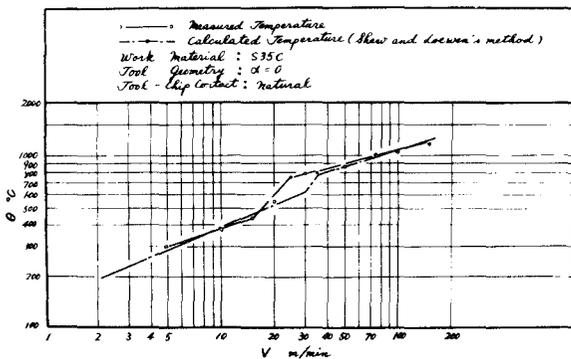


Fig. 8 Comparison of Calculated and Measured Tool-Chip Interface Temperature with cutting Speed.

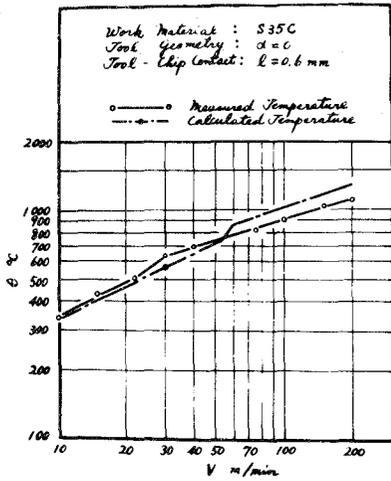


Fig. 9 Comparison of Calculated and Measured cutting Temperature (θ) with cutting Speed (V).

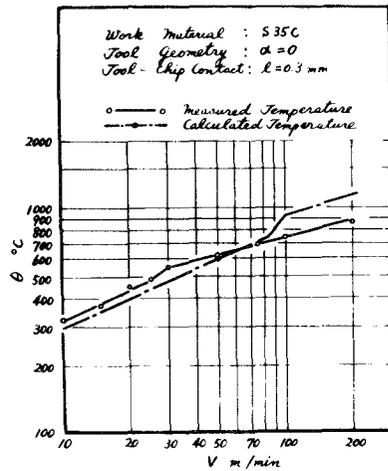


Fig. 10 Comparison of Calculated and Measured Cutting Temperature (θ) with cutting Speed (V).

みられる 700°C 付近の跳躍現象は計算に採用した物性値が被削材の変態点において急激に変化するためであると思われる。

III-3 工具一切りくず接触長さ変化に対する切削温度

Fig. 11 は工具一切りくず接触長さ変化に対する切削温度の関係である。切削条件は前項の場合と同じであるが、切削温度に対する構成刃先の影響を考慮して切削速度は 100 mpm と一定にした。同図から明らかなように工具一切りくず接触長さを拘束縮小することによって切削温度は低下する。この傾向は、切削抵抗と拘束長さとの関係と同様である。工具一切りくず接触長さを限界以上に拘束縮小すると高すくい角程効果が減少する。このことは拘束効果が失われ自然接触長さをもった工具と同じ切削作用をするためである。

Fig. 12 は接触面積拘束工具に対しても M. C. Shaw の理論が適用できるか否かを検討するため、解析結果に温度の実測値を用いて計算した結果である。切削条件はすくい角 $\alpha = 0^\circ$ 、切削速度 $V = 100$ mpm の場合である。同図から明らかなように計算値と実測値はかなりの一致を示している。しかし、自然接触長さに近づくにつれて誤差が大きくなっている。この理由としては、真の接触面積が切削機構の変動のため見かけの接触面積より小さいため

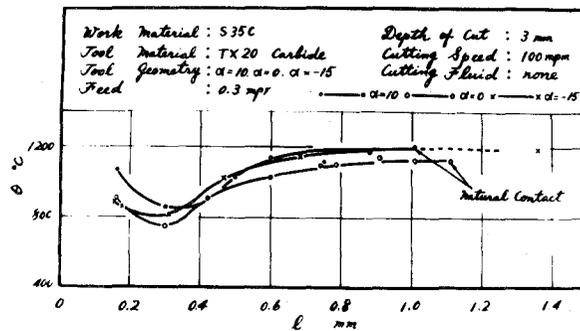


Fig. 11 Effect of Tool-Chip Contact Length (l) on Average Tool-Chip Interface (θ).

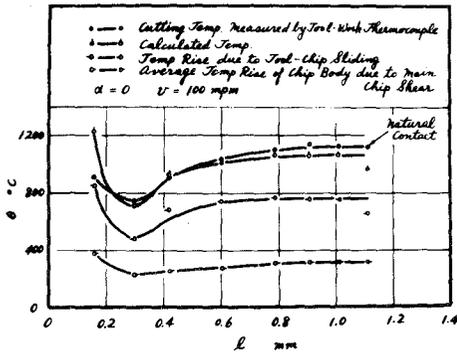


Fig. 12 Comparison of Calculated and Measured Tool-chip Interface Temperature (θ) with Contact length (l) for S35C.

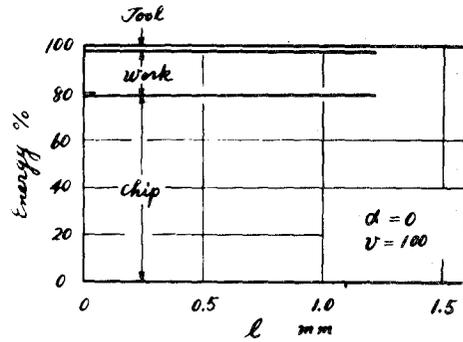


Fig. 13 Distribution of Total cutting Energy among chip, Workpiece and Tool for Test Condition in Fig. 12.

と考えられる。拘束長さ $l = 0.3$ mm から $l = 0.6$ mm までの温度の急激な上昇は、せん断面温度の変化が少ないため摩擦による温度上昇が大きいと考えられる。Fig.13は同一切削速度で接触長さを変化させたときのエネルギー分布である。切削速度一定の条件に対してエネルギー分布の変動はない。それゆえエネルギー分布は速度が主要な因子と考えられる。

III-1項で述べたように切削速度と切削温度との関係は $\theta_c \cong C \cdot V^n$ で近似されるとしたが、この実験においても同じである。一方、工具寿命と切削速度との関係は $T^m \cdot V = C_1$ で表わされる。すなわち、工具寿命と切削速度とは逆比例関係にある。したがって、接触面積拘束工具の切削温度は通常工具のそれに比べて低いため工具寿命の改善が期待される。しかしながら Fig.

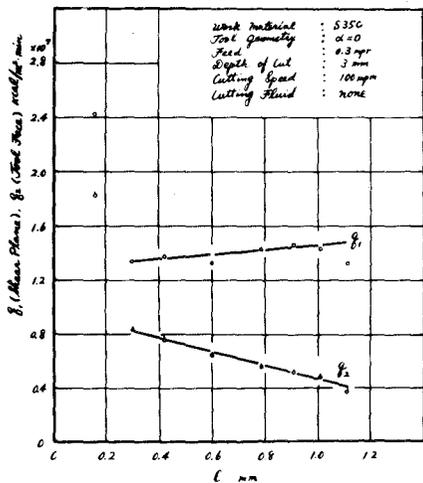


Fig. 14 Heat Source Strength per Unit Area per min. with Tool-Chip Contact Length (l).

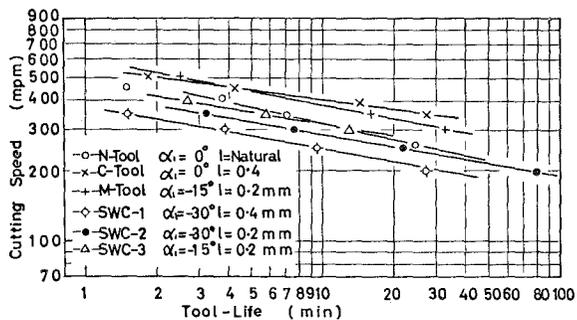


Fig. 15 Comparison of Tool-Life Curves (flank-wear) for Carbide Cut-away Tools.

Cutting Conditions: material cut, 0.14% carbon steel; tool, ST-2 Carbide (0, var, 5, 5, 10, 0, 0.5); depth of cut, 1.5mm; feed, 0.3mm pr; cutting fluid, dry.

14に明らかのように、せん断面およびすくい面上の単位面積、単位時間あたりの熱源の強さが接触面積拘束長さの縮小とともに増加する。それゆえ、すくい面平均温度が低いにもかかわらず、すくい面上で局部的に熱集中を受けると考えられる。そのため拘束長さを極端に縮小することは、工具寿命を短くすることになる。Fig. 15は逃げ面最大摩耗幅0.5mmを寿命とした場合の、炭素鋼(0.14%C)を送り0.3mmpr, 切込み1.5mm, 超硬工具(P-10)によって準二次元乾燥旋削した工具寿命曲線である⁷⁾。同図からただちに明らかのように通常工具(N-工具)に比べて接触面積拘束工具(C-工具)が最も良い結果を示している。

IV 結 言

接触面積拘束工具の工具一切りくず接触長さを変化させたときの切削温度および切削温度の理論解析の適用について検討を行ない、以下の結論を得た。

1. 接触面積拘束工具による炭素鋼の切削において、切削温度に関する M. C. Shaw らの解析は実験値と良好な一致を示した。
2. 接触面積拘束工具の工具一切りくず接触長さ $l = N$, $l = 0.6$, $l = 0.3$ と縮小させることによって、切削速度変化に対して切削温度を低下させうる。
3. 切削速度一定で工具一切りくず接触長さを縮小すると切削温度は減少し、接触長さとの送り量の比 $l/f \div 1$ で最小切削温度を示す。
4. すくい角変化に対して最小拘束長さが幾分異なり、それに伴ない最小切削温度における拘束長さは変化する。
5. 工具一切りくず接触長さを極端に縮小しなければ工具寿命を著しく改善することが出来る。

本実験実施に助力された成蹊大学工学部広田明彦助教授に対して感謝の意を表す。

(昭和 55 年 5 月 23 日受理)

文 献

- 1) Loewen, E. G and Shaw, M. C. : Trans. ASME, 76, 217(1954)
- 2) Nakayama, K., Shaw, M. C. and Brewer, R. C. : CIRP 14, 211 (1966)
- 3) 鳴瀧良之助ほか：日本機械学会講演論文集, 168, 37 (1967)
- 4) Hahn, R. S. : Proceedings of the First U. S. National Congress of Applied Mechanics, P. 661 (1951)
- 5) Trigger, K. J. and Chao, B. T. : Trans. ASME. 73, 57 (1951)
- 6) Iron Steel Inst : The Physical Properties of Series of steel. 215 (1939), 83 (1946)
- 7) 菊地千之ほか：精密機械, 30, 316 (1964)