

FEMによるチャンファ付き工具の応力解析と 断続旋削の対応

関谷 克彦*・北川 亮三*

Correspondence of the Stress Analysis of Chamfered Cutting Tools
by the Finite Element Method with the Tool Failure in Interrupted Cutting

Katsuhiko SEKIYA and Ryoza KITAGAWA

Abstract

The failure and tool life of chamfered cutting tool in interrupted cutting are investigated experimentally, and finite element technique is applied to the analyses of the distribution of the stresses along the tool rake face of various geometries of chamfered cutting tool. The stress analysis was based on a two-dimensional model as encountered in orthogonal cutting.

In this paper, the distributions of compressive principal stress along the rake face by the finite element technique are compared with the position of the failure and tool life, and well indicate the experimental results.

1. 結 言

工作機械の自動化・無人化は、生産性の向上に重要な役割を担っている。しかしながら、切削加工中には、工具の欠損・摩耗のため突然あるいは徐々に加工が不可能となり工具交換のため加工の中断を余儀なくされる。また、切削不可能となった工具は廃棄あるいは再研磨の必要があり、生産加工にとって切削工具の損耗は時間的・経済的に大きな影響を与える。

また、部品形状の複雑化のため、多溝・多穴を有する部品加工の必要性から切削形態も従来より断続切削の割合が増加してきている。

このため、殊更に切削工具の欠損は生産性に大きな影響を与え、これを最小限に抑えるために従来より工具の材料・形状等に種々の工夫がなされてきた。チャンファ付き工具も工具の耐摩耗性を向上させながら欠損を抑えるために経験的に考案されたものの一つである。

そこで、本研究は、種々のチャンファ形状を持つ工

具により断続旋削を行い工具の欠損状況を調べ、これとFEMによる工具すくい面上の応力解析結果との対応づけを試みたのでこれを報告する。

2. 実験装置

使用した工具は、日本タングステン社製の超硬合金P20 (SNGN120408-SN20) に、Table 1で示す9種の形状のチャンファをダイヤモンド砥石を用いて特別に製作したものをを用いた。表中の実験工具名は、チャンファ幅0.05, 0.10, 0.15mmをそれぞれA, B, Cとし、チャンファ角度15°, 30°, 45°をそれぞれ1, 2, 3としている。また、チャンファが手仕上げのため表面粗さ測定機によりトレースを行い、更に工具顕微鏡を用いてチャンファ形状を確認したのでこれを同時に示す。尚、チャンファ角度45°のものについては、表面粗さ測定機の針先形状の関係で角度の測定は不可能であった。

これらの工具をFig. 1に示した東芝タングロイ社製ホルダ(クランプオン式汎用ホルダ・ネガタイプPSBNR2525)に取り付け、Fig. 2に示すように同社製ブレーカチップ(NCS-3M)を用いて工具と切り屑の

*機械工学科

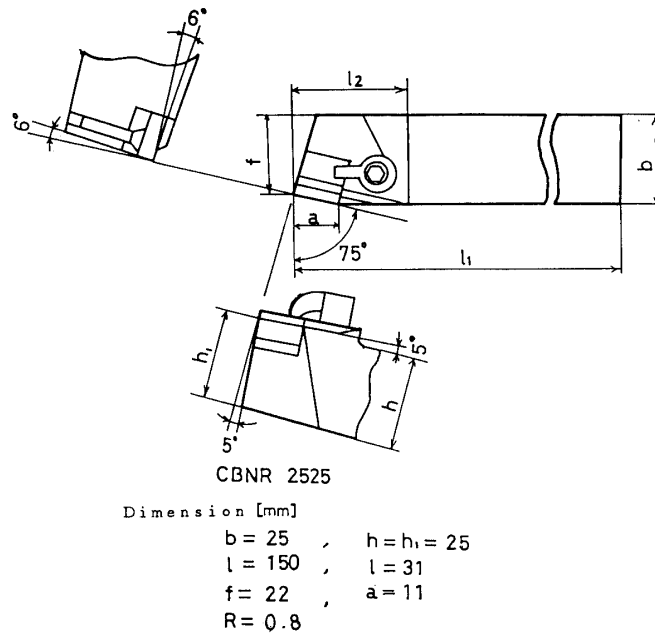


Fig. 1 Dimension of tip holder

Table 1 Geometry of the chamfers

Tool	designed width (mm)	designed angle (deg)	measured width (mm)	measured angle (deg)
A 1	0.05	15	0.039	15.3
A 2		30	0.049	33.7
A 3		45	0.057	—
B 1	0.10	15	0.097	14.3
B 2		30	0.097	34.5
B 3		45	0.109	—
C 1	0.15	15	0.123	16.1
C 2		30	0.144	31.6
C 3		45	0.155	—

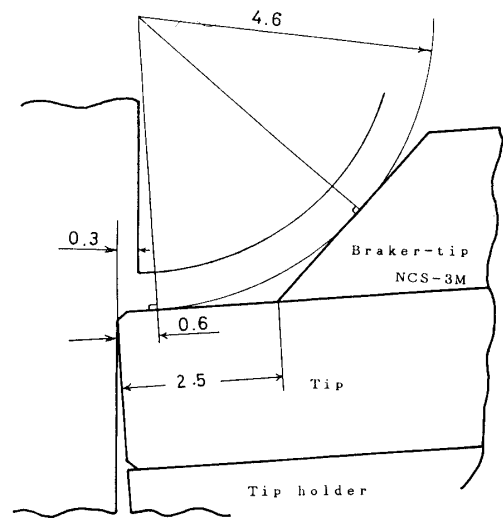


Fig. 2 Setting condition of tool

接触長さが0.6mmとなるようにした。

被削材は、S48Cの丸材に焼きならしを施した後、幅10mm深さ15mmの溝を周上に4本等配したものを作成し、これを旋盤（池貝DC-20旋盤（住友バイエル型無段変速機付き、出力7.5kw））を用いて乾式切削を行なうことにより実験を行なった。また、本実験で採用した切削条件は以下のようなものである。

切削速度 V : 1.67 m/sec (100 m/min)

送り S : 0.30 mm/rev

切込み量 A : 2.0 mm

工具突出量 : 25 mm

3. 実験結果

Fig. 3に各チャンファ形状と切削抵抗の関係を示す。これより、チャンファ幅が0.05mmのときにはチャン

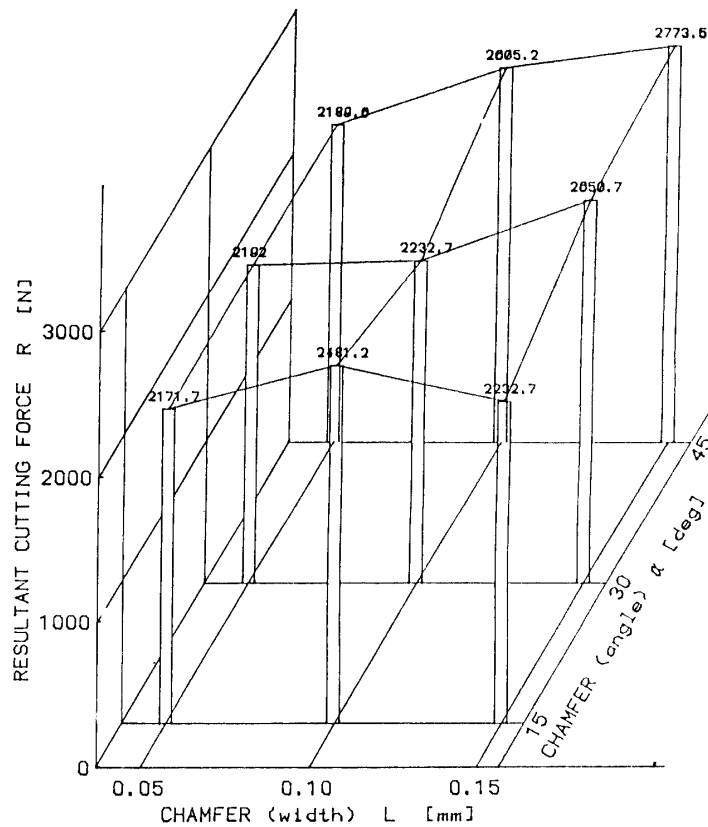


Fig. 3 Variation of resulting cutting force

ファ角度の変化によらずほぼ一定の切削抵抗であり、チャンファ幅が大きくなるにつれチャンファ角度が切削抵抗の大きさに与える影響が大きくなることからわかる。また、チャンファ幅が異なると、切削抵抗の最小値を与える角度は異なる。

また、チャンファ形状による、工具欠損までの切削可能時間を Fig. 4 に示す。図中の 0 は切削開始直後に欠損したため、時間の測定が不可能であったものである。

Fig. 4 よりチャンファ幅が大きい程耐欠損性に優れていることがわかる。また、チャンファ幅が 0.05, 0.10 mm の時にはチャンファ角が 30° のものが、0.15 mm の時には、チャンファ角が大きくなるに従い耐欠損性が優れていることがわかる。

Fig. 3, Fig. 4 から、チャンファ形状が耐欠損性に与える影響が大きく、切削抵抗による影響は小さいことがわかる。

また、Photo 1 は、欠損した工具の走査型電子顕微鏡写真の例である。これらの写真のように工具の欠損は、チャンファ境界付近から欠落していた。

4. FEMによる応力解析

問題を簡素化するため、旋削加工中に切削熱・衝撃力はないものと仮定し、静的な切削力のみが作用する 2 次元切削に於ける解析を行なった。

メッシュ分割は、最大チャンファを持つ工具（チャンファ幅 0.15mm, チャンファ角 45°）のメッシュ分割を基にして、他のチャンファ形状はチャンファ部のみこれにうわのせするようなメッシュとした。この際チャンファ表面に凹凸ができないように注意した。また、各工具の節点数・要素数・荷重点数を Table 2 に示す。

荷重点数は、チャンファ幅及び角度がそれぞれ異なるために一定とすることができない。そこで荷重点間距離をチャンファ部は 10 μ m とし、刃先より 0.05mm 以降は荷重点がすべての場合において共通となるようにチャンファ部付近の最小メッシュを定めた。

すくい面上に於ける等価節点荷重は、刃先より切り屑と工具との接触面である 0.6mm までのすくい面上の各節点にかけた。荷重分布形状は、チャンファの無い工具では、Fig. 5 のように一般に垂直荷重は刃先で最

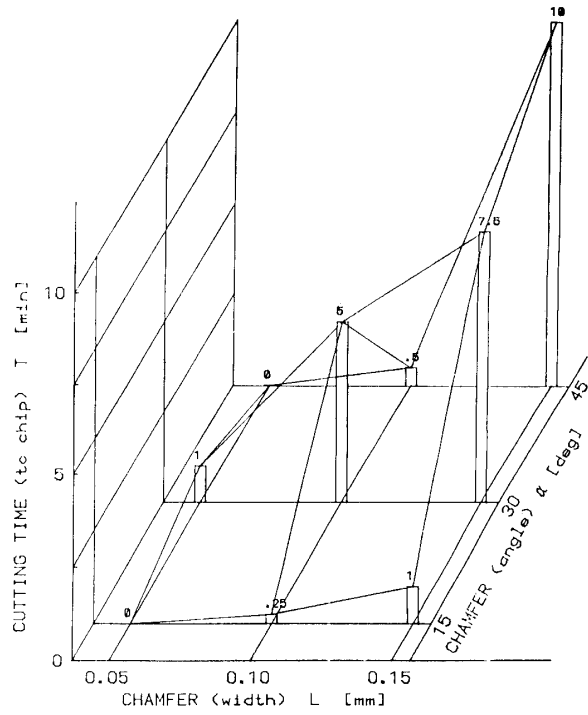
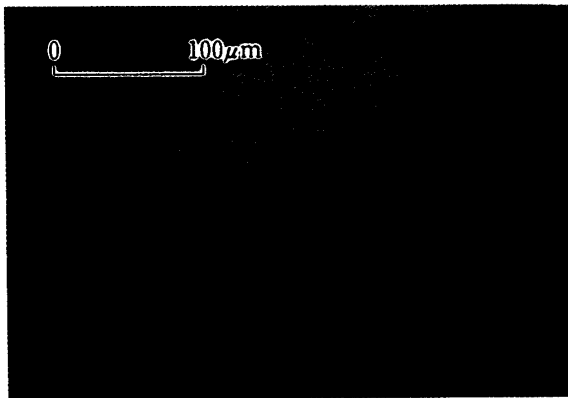
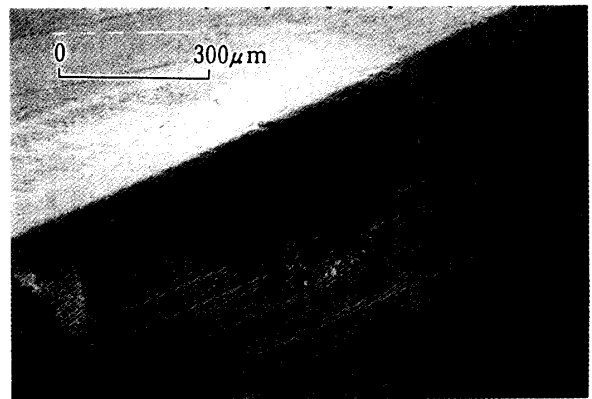


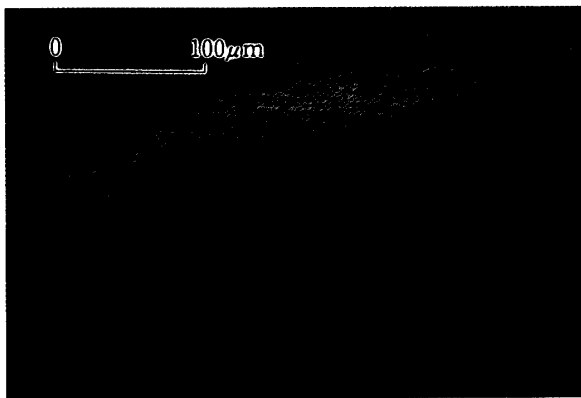
Fig. 4 Variation of cutting time to chip



(a) chamfer width : 0.05 mm
chamfer angle : 30 deg



(b) chamfer width : 0.10 mm
chamfer angle : 15 deg



(c) chamfer width : 0.15 mm
chamfer angle : 45 deg

Photo 1 Examples of chipping

Table 2 Tip data

Tool	Number of nodes	Number of elements	Number of loaded nodes
A 1	370	658	24
A 2	368	655	24
A 3	363	646	24
B 1	363	653	27
B 2	361	639	27
B 3	350	619	27
C 1	363	640	29
C 2	345	606	29
C 3	313	546	29

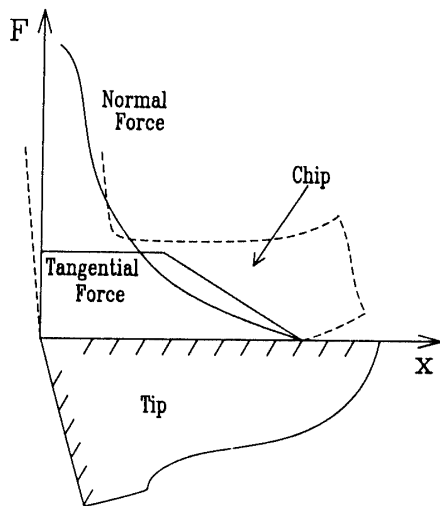


Fig. 5 Distribution of the forces along the rake face

大値を持ち、切り屑と工具とが離れる点まで単調に減少する分布となり、接線力は切り屑との全面接触域(全接触長さの約1/2~2/3)では一定値となり、その先はほぼ直線的に減少する分布となることが知られている¹⁾。しかし、チャンファ部分に働く荷重分布については実験的にも理論的にも研究した例が見あたらなかった。そこで本研究では、Fig. 6に模式的に示すように、垂直力はチャンファでない部分では、チャンファ境界で最大値をとり切り屑の分離点(刃先より0.6mmの点)まで直線的に減少し0となる分布とした。チャンファ部では、垂直力をチャンファ境界部から刃先に向かい

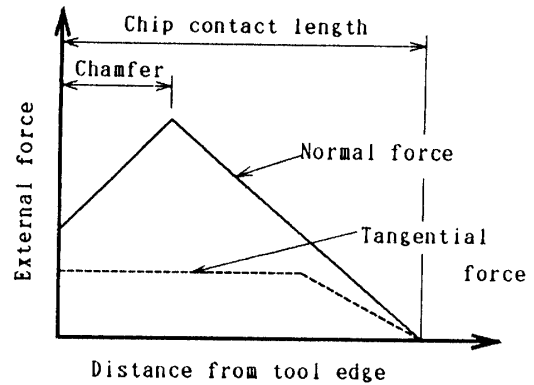


Fig. 6 Assumed distribution of the forces along the rake face

直線的に減少し境界部の1/2となるような分布と仮定した。また、接線力は、刃先より切り屑接触長さの2/3までを一定としその先は直線的に減少するような分布であると仮定した。

それぞれのチャンファ形状に於ける等価節点荷重はこの仮定に基づき、実験により得られたそれぞれの主分力と背分力から計算で求めたものを用い解析を行なった。

なお、縦弾性係数及びポアソン比は、超硬合金 P20の値を用い、それぞれ54000kg/mm²、0.21とした。

また、計算機は山口県工業技術センタの NEC-MS140型ミニコンピュータを使用した。

5. FEM応力解析結果と実験結果の対応

FEM解析で得られた工具すくい面上の主応力差 $|\sigma_1 - \sigma_2|$ の分布を同一チャンファ角毎に示したものが Fig. 7, 8, 9である。

これらはともに刃先より0.26mmで大きくはね上がっているが、これはその点を境にメッシュパターンが変わり要素が大きくなっているためであると考えられる。また、これらは全てチャンファ境界付近で極値をとり、これは工具欠損箇所とよく一致している。

しかしながら、従来、主応力差は工具破損に最も大きな影響を与えると考えられてきたが、本研究では Fig. 4で示したような工具の欠損との対応づけはできなかった。

Fig. 10, 11, 12に各チャンファ角での刃先より0.2mmまでの最大圧縮主応力 σ_2 の分布を示す。

Fig. 7, 8, 9と同様にいずれの場合に於いても、チャンファ境界付近で圧縮主応力は最大値を持ち欠損

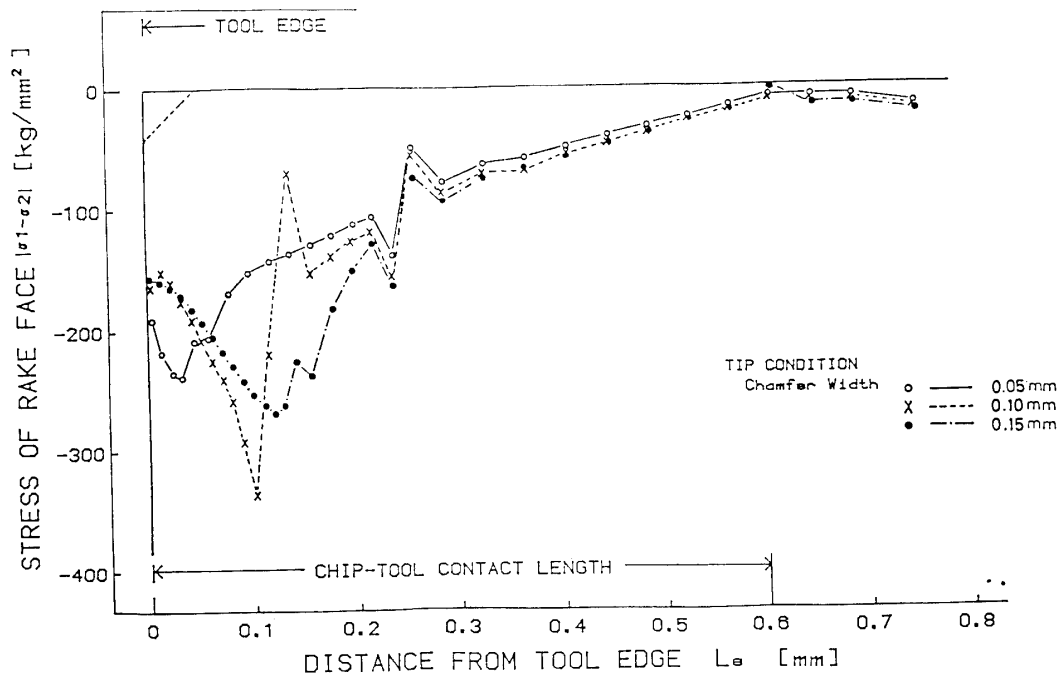


Fig. 7 Variation of the difference of principal stresses along the rake face (chamfer angle : 15 deg)

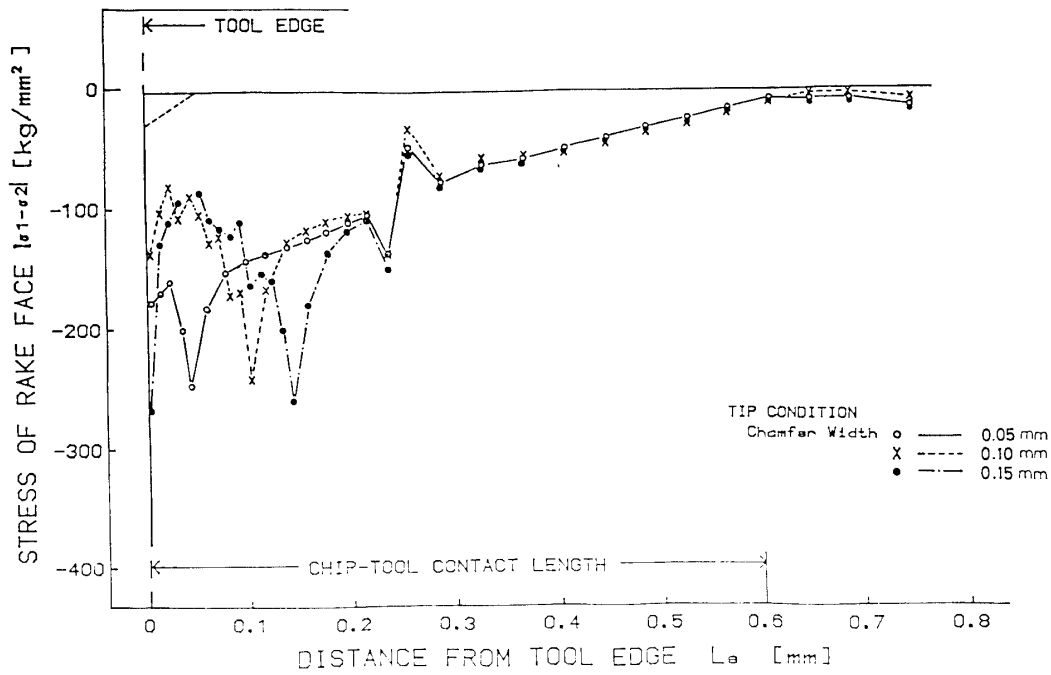


Fig. 8 Variation of the difference of principal stresses along the rake face (chamfer angle : 30 deg)

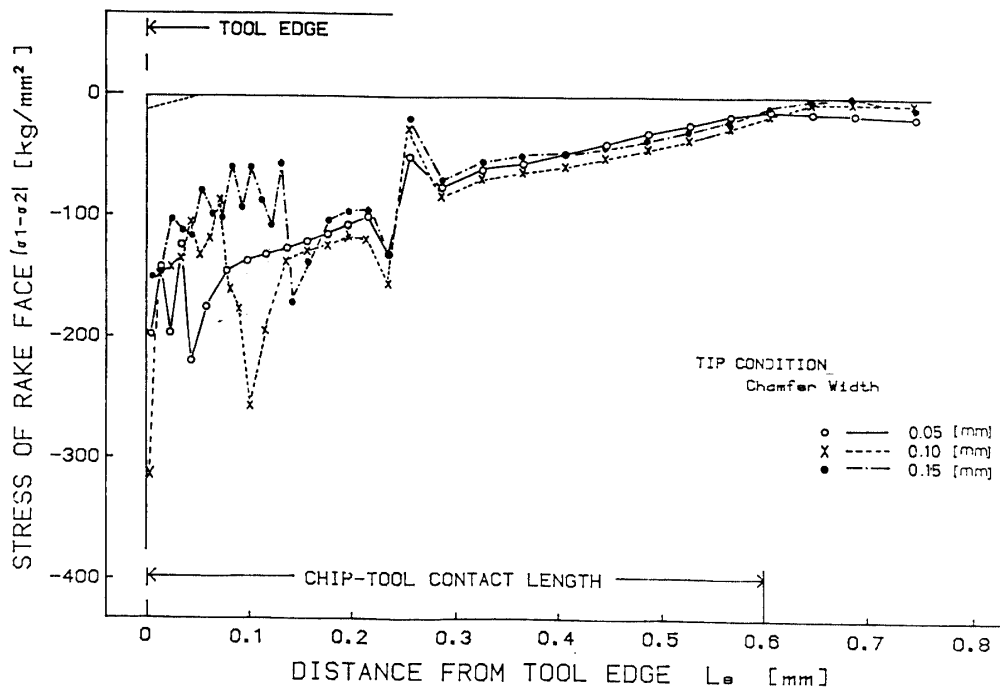


Fig. 9 Variation of the difference of principal stresses along the rake face (chamfer angle : 45 deg)

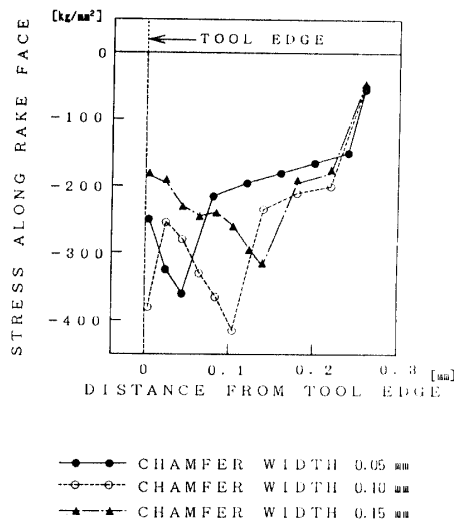


Fig.10 Variation of the compressive principal stresses along the rake face (chamfer angle : 15 deg)

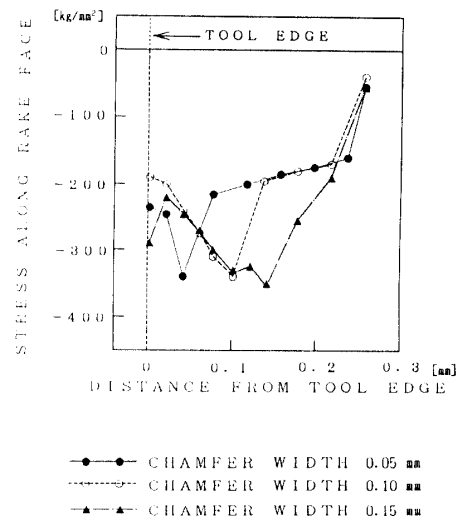


Fig.11 Variation of the compressive principal stresses along the rake face (chamfer angle : 30 deg)

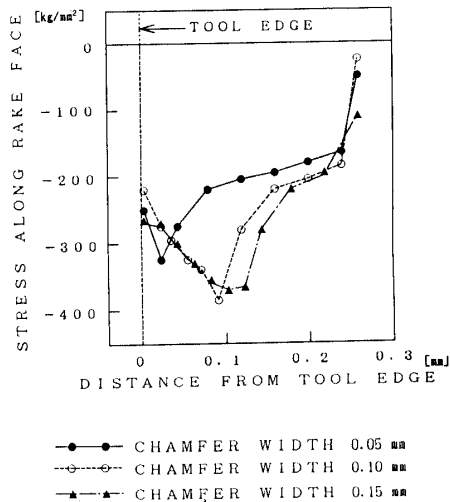


Fig.12 Variation of the compressive principal stresses along the rake face (chamfer angle : 45 deg)

箇所とよく一致している。

チャンファ角の大きさが同一の場合チャンファ幅が小さくなるに従い応力の集中が見られ、このことは、幅の広いチャンファが耐欠損性に優れることと対応している。また、チャンファ幅が0.1mmの場合、チャンファ角が30°のものに比べ15°、45°のものの方が応力の集中が見られる。これは、実験で得られた30°のもの長寿命化と対応している。更に、チャンファ幅が0.15mmの場合、応力集中の程度の差は、45°と30°のものより15°と30°のものの方が大きい。これらは、Fig. 4で示した実験結果による工具欠損までの寿命の差とよく一致している。

しかしながら、チャンファ幅が0.05mmの場合には、解析結果と実験結果とが対応していない。これは、チャンファ部が見掛け上大きな負のすくい角となっており、このためチャンファ幅が小さい場合には、切り屑等の圧着物がチャンファ部で滞留したため、仮定した荷重分布が旋削中に起こる刃先での現象と異なると考えられる。

以上のように、断続旋削に於ける工具破損とFEM解析によるすくい面上の圧縮主応力分布とは概ね対応していることがわかった。

6. 結 言

種々のチャンファ形状の工具による断続旋削とFEMによる解析の結果以下のことが明らかになった。

- (1) 単純な2次元切削のモデルを用いてFEM解析により求めたすくい面上の圧縮主応力の分布とチャンファ付き工具の断続旋削可能時間及び欠損位置とは、概ね良い一致を示した。
- (2) 工具欠損は、チャンファ境界付近で起こり、これはすくい面上に圧縮主応力が集中するためである。
- (3) チャンファ角が同じ時、チャンファ幅が大きくなるに従いすくい面上圧縮主応力の集中が緩和されるために耐欠損性が向上する。
- (4) チャンファ幅が0.1mmの時、チャンファ角30°のものが他の角度のものに比べ応力の集中が緩和されるために耐欠損性が優る。
- (5) チャンファ幅が小さいときには、切り屑などの流れや構成刃先などの凝着物を考慮した荷重モデルを考える必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、工具を提供して頂いた日本タングステン(株)及び、計算機を使用させて頂いた山口県工業技術センタに厚く謝意を表します。また、卒業研究として本研究に協力された西村享・吉松経倫の両氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 中島利勝, 鳴瀧則彦: 機械加工学, コロナ社(1983)p.32
- 2) 岸浪建史, 横内弘宇, 星光一, 斉藤勝政: 精密機械, 39, 1023(1973)
- 3) M. M. Ahmad, W. A. Drapper and R. T. Derri-cott: Int. J. Mach. Tools Manufact., 29, 185(1989)
- 4) M. M. Ahmad, W. A. Drapper and R. T. Derri-cott: Int. J. Mach. Tools Manufact., 29, 197(1989)

(平成2年10月15日受理)