

木材の被削性(2)

倉田久敬

3. 工具寿命

3.1 工具摩耗の特徴

工具が寿命に達したということは、工具の切刃が摩耗したことであり、寿命のとり方により種々の段階の摩耗が存在する。寿命の判定項目には、3.3の項で述べるように3通りの項目があるが、工具の摩耗がもっとも基本になるもので、ほかには工具が摩耗したために発生する2次的な現象と考えられる。

木材切削での工具の摩耗は極めて複雑な現象で、この問題を摩耗の機構にまでたちいて研究した報告は皆無にひとしい。しかし金属切削の分野においては相当数の報告がみられ、これらによると工具摩耗の特徴として

- 1) 工具と被削材の接触圧力が非常に高い
- 2) 接触部分は切削熱によって非常に高温になる
- 3) 接触面はたえず新しい面が成生されるので、工具は酸化されていない被削面と接する

の3項目が一般的に考えられている¹⁸⁾。

接触圧加こについては竹山¹⁹⁾は、工具すくい面上の接線応力は、ほぼ被削材の降伏応力に等しく、法線応力も降伏応力またはそれ以上の値であるとしている。木材の場合には降伏応力が明確でなく、また異方性であるため切削方向によって接触圧力が変化することになるが、相当に高いものと考えられる。

切削熱による工具の温度上昇については、金属切削では1000に達するとの報告²⁰⁾もあり、木材切削においても数100以上になる²¹⁾と考えられている。

工具と被削材の接触面が処女面であるということについては、金属切削の場合には工具と被削材が互に拡散、合金化をおこすことが考えられ、また切屑と工具が溶着することが考えられるため重要な事項となるが木材切削に関してはさして重要な問題とはならないように考えられる。

以上3項目のうち、木材切削について比較的重要と考えられる工具温度の上昇については、温度上昇のた

めに工具金属が変質することが考えられ、これが2次的に工具の摩耗に関係しているだろうと推察される。

3.2 工具摩耗の原因

木材切削における工具摩耗の原因として杉原¹⁾は

- 1) 切屑および被削材面との摩擦による摩減
- 2) 切削抵抗による切刃先の微小な欠損
- 3) 切削および摩擦の結果生じた熱による、切刃先の温度上昇による工具材質の変化
- 4) 摩擦による帯電と樹液中に存在する酸およびアルカリによる電気化学的な腐食

をあげている。

木材のように軟かい被削材(ブリネル硬度1~10)を、たとえば高速度鋼のように硬い金属(ロックウェルC硬度約60)で切削して、あながちに早く寿命には達するのはなぜかという疑問が一般にあるが、これには3つの理由があげられると思う。第1は木材は軟かいというが、木材組織の中にはシリカ、チロース、樹脂の硬化したものなど硬度の高い含有物が存在し、これが機械的に工具を摩耗させる。第2は木材切削は一般に高速切削であるために時間的には短時間で摩耗しているが、実際の切削距離は非常に大となり、1例によると実切削長は20kmに達している¹³⁾。第3は木材切削では非常に鋭利な切刃先が要求され、工具のわずかな摩耗でも実際の切削作業に耐えられなくなる。このことは一般に許容される摩耗量のちがいで現れる。木材切削と金属切削では工具摩耗の形態が異なるため、同一の方法で摩耗量を測定することはできないが、概略の比較として木材切削では3.4の項で述べる1の大きさにして約0.02mm²²⁾(被削材、工具材質によって多少異なる)が限度であるのに対して、金属切削ではクレーター摩耗深さにして約0.1mm²³⁾に達するまで許容されている。

切削抵抗によって切刃先に微小な欠損が生じることについては、詳細な報告がないが納得されることであると思う。

工具刃先の温度上昇については、木材切削が高速切

木材の被削性 (1)は北林産試月報又は木材の研究と普及、9月号、16頁(1968)に掲載。

削であるため測定が困難であり、わずかな報告²⁴⁾をみるにすぎないが、最近赤外線放射顕微鏡の利用による測定²⁵⁾²⁶⁾が試みられ成果が期待されている。ただ温度上昇により、実際の作業中に工具や被削材が工具摩耗に関してどのような変化を示すかについては、いまだ十分な研究がなされていない。

樹液による電気化学的な腐食に関しては、E. Kiv - IMMMA による興味ある報告²⁷⁾があり、また大迫²⁸⁾は食塩水による各種工具鋼の腐食について試験を行なっている。

3.3 工具寿命の判定法

工具寿命とは使用状態に仕上がっている工具で、一定の被削材を一定の切削条件で切削した場合、切削開始から切削できなくなるまでの時間、またはその間に切削した被削材の量をいう。しかし工具が切削不能になったかどうかの判定の難易は、工具材質、被削材質、切削法のちがいによって差がある。たとえば帯鋸による切削では、ある時点で急に挽曲りを生じるようになり、この時点で寿命に達したと考えると判定は容易である。他方、高速度鋼鉋刃によるプレーナー切削ではいつのまにか切れなくなっており、切削不能におちいった時点を明確につかまえることが困難である。

また工具が完全に切削不能になってからでは、その再研磨に時間と費用がかかりすぎることになる。そこで経済的な工具寿命の概念が生じる。これについては3.6の項で述べる。

工具寿命の判定には次のような項目が考えられる。

- 1) 切削工具の摩耗量
- 2) 切削抵抗の変化
- 3) 被削材の寸法精度の低下または被削材面の性状の劣化

工具の摩耗量は寿命に1次的な関係を有するものであり、その他の判定項目はすべて工具摩耗から派生する2次的な現象と考えられる。金属切削の場合はフランク摩耗(にげ面摩耗)またはクレーター摩耗(すくい面摩耗)が一定値に達した場合に寿命に達したとする方法が多く採用されているが、木材切削の場合では鋸の摩耗に関して以外はあまり用いられない。特に平面切削の場合には、後述するように、摩耗量の測定自体

に困難さが伴うためにあまり採用されない。また工具にチッピングまたは破損等が発生したときをもって寿命に達したとする方法もあるが、実際の切削作業では被削面に残る欠跡の許容限度が明確でなかったりするため採用されず、切削試験においてもチッピング等は偶発的に発生することが多いため用いられない。

切削抵抗の変化については、金属切削の場合、工具鋼、高速度鋼の工具で切削を継続してゆくと、ある時点で急に切削抵抗が増加するといわれる。これは主分力よりも背分力、横分力において顕著である。木材切削においても同様の傾向が認められるとの説もあるが、まだ十分な研究がなされていない。切削抵抗を直接に測定する方法ではないが、一定送り力で切削をおこない、一定材長の被削材を切削するのに要する時間を測定する方法がある²⁹⁾。いずれにしてもこれらの方法は実験室で精密な切削試験をおこなう場合にはよいが、工場での作業には不向きである。

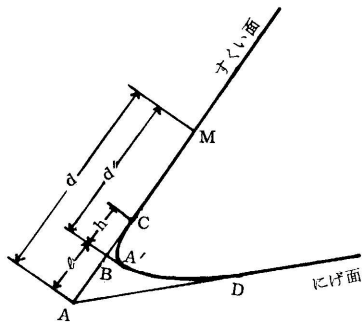
工具が摩耗してくると刃先が所定の切込量だけ切込まなくなり、切削後の寸法にバラツキが発生し、同時に被削面の性状が悪化してくる。寸法精度または被削面性状の低下は、木材の平面切削での寿命判定に一般に用いられているが、被削面性状の変化は普通漸進的であるため、寿命判定の精度がにぶいという欠点がある。しかし現場での作業ではもっとも採用しやすい方法である。また帯鋸による切削では、先にも述べたように挽曲りが発生した時点を寿命としている。これは鋸の摩耗により切削抵抗が増大し、この抵抗のため鋸歯が坐屈を起して挽曲がりを生じるものである。

3.4 工具摩耗の経過

工具寿命と1次的関係にある工具摩耗について詳述する。木材切削における工具摩耗の測定法は次のような方法がある。

- 1) 刃先後退量の測定³⁰⁾
- 2) 摩耗巾の測定³¹⁾
- 3) 刃先形状の変化の測定³²⁾³³⁾

摩耗による刃先の後退量の測定は、一般に第8図のように工具刃先からある距離だけはなれた場所に印をつけておき、この距離の減少量をもって刃先の後退量とする。印をつける面によってすくい面後退量とに



- 注 A : 未使用時の刃先点
 A' : 磨耗した状態の刃先点
 弧 C A' D : 磨耗した刃先
 M : 印をつけた点
 B : すくい面から弧 C A' D にたてた垂線の足
 刃先の後退量 $l = d - d'$
 磨耗巾 h
 刃先点 A'

第8図 磨耗した鉋刃先の模式図

にげ面後退量があり、両者は一般に異なった値を示す。通常は測定方法の難易によって、すくい面後退量を測定することが多い。後退量の測定はこのような方法だけでなく、このあとに述べる刃先断面のプロフィールを得る方法によっても測定しうる。また鋸の場合は、歯背側からセロハン紙を押しつけて歯形をとることによって、後退量を推定する方法が用いられている。

磨耗巾の測定は、金属切削では一般に用いられている方法であり、普通フランク磨耗巾を測定している。木材切削では、第8図のように磨耗の形態が金属切削と異なるため一般には採用されていないが、測定した報告も多少ある。

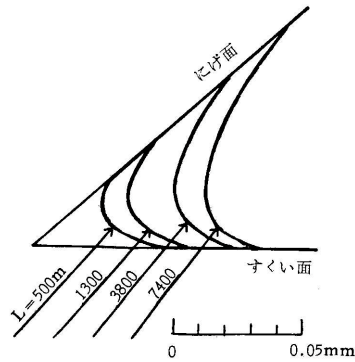
刃先形状の変化には、刃先線の真直度の変化と断面プロフィールの変化がある。刃先線の変化 - すなわち刃先線の乱れ - については、あまり報告³¹⁾¹⁴⁾がないので詳細にはわからないが、切削開始後はじめは乱れが徐々に大きくなり、ある時点で最大となり、それをすぎると反対に小さくなってゆき、ついには一定値におちつくように思われる。

刃先断面の変化の測定 - すなわち断面プロフィールの変化の測定 - は、もっとも基本的な方法で、ほかの方法で得られる情報のほとんどは、断面プロフィールを得ることによって手にいれることができる。断面プロフ

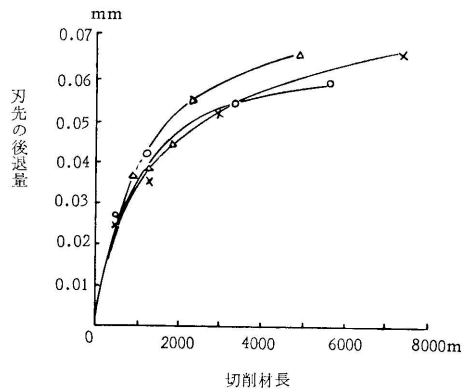
イルを得る方法には、工具をはじめから2つに割っておき、これを特殊な治具に納めて使用し、のちそれを治具からとりだして側面から観察する方法³¹⁾、断面の形状を合成樹脂、低温溶融合金等で型取りし、これからプロフィールを得る方法³³⁾³⁴⁾³⁵⁾、光切断によってプロフィールを得る方法³⁶⁾等がある。しかしいずれの方法によるにしても、磨耗量がわずかであるために、正確に測定するには相当の困難さが伴う。

そのほか、鋸の場合には、一般にアサリ巾の減少量をマイクロメーターによって測定する方法がとられている³⁷⁾。

工具の磨耗に関しては従来から多くの研究がなされており、鉋削にかぎっても相当数³⁰⁾³¹⁾³²⁾³³⁾³⁵⁾³⁸⁾³⁹⁾⁴²⁾⁴³⁾にのぼる。第9図³³⁾はプレーナ鉋刃の磨耗によるプロフィールの変化を示したものである。これをみてもわかるように木材切削の場合、磨耗による刃先の丸



第9図 工具の磨耗経過



第10図 切削材長に伴う磨耗刃先の後退量

身の変化については、単純に刃先の丸身の曲率半径が増加しているわけではない。磨耗の経過については、切削開始後しばらくは初期磨耗と呼ばれる急激な磨耗を示すが、それ以後はゆるやかに経過し寿命に達する。第10図³³⁾はこの状態を示している。切削法、工具材質によっては、ある時点で突然に明らかな変化を示し、切削不能におちいる場合があるといわれる⁴⁰⁾が、鉋刃の磨耗についてはそのような例はみられない。第9図に示す磨耗経過についての刃先点の後退は、磨耗の解析方法が確立されていないため一概には断定できないが、一般に刃先角の2等分線よりもすくい面側にかたよった位置に存在することは明らかであり、したがって鉋刃の寿命を決定するのは、にげ面の磨耗であると思われる。

3.5 工具寿命に影響する因子

1) 被削材の材質

一般に比重の大きい材または硬い材を切削するほど工具が早く磨耗するといえる。しかし被削面の性状で寿命を決定するならば、かならずしも硬材の方が早く寿命に達するとはいえず、むしろ寿命が長い場合もありうる³⁵⁾。そのほか、シリカ等を含んだ材は工具を早く磨耗させることが知られているが、統一的な研究にとぼしく、被削材と工具寿命の関係は明らかでない。

2) 工具条件

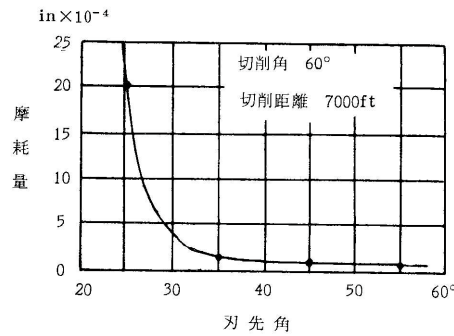
工具材質が寿命に1次的な関係を有することは明らかであり、一般に工具材質の硬度が大きいほど、また高温での硬度低下が少ないほど寿命が長い。第3表³³⁾は工具鋼、高速度鋼、超硬合金による寿命の差を示した1例である。

また工具材質の2次的な影響として、各工具材質の工具を研磨した場合の刃先の状態によっても寿命がこ

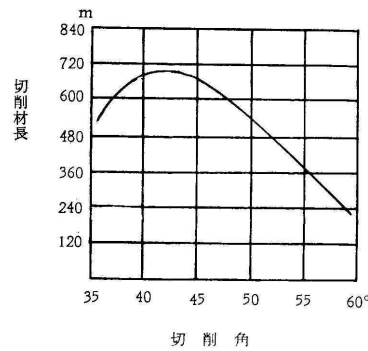
となる。また同一材質の工具でも研磨方法が寿命に影響することが認められている⁴¹⁾。

3) 切削条件

切削角を一定にした場合の刃先角の影響については刃先角が大きいほど欠損、磨耗に対する抵抗が大となるが、あまり大きくなると切削機構が変化して、切削抵抗が大となって早く磨耗することになる。結局、寿命に対する刃先角の影響はこの両者の総合されたものとなる。1例をあげれば第11図⁴²⁾のようになり、25°



第11図 刃先角と工具の摩耗量



注 ヒノキ
 榎目面縦切削
 刃先角 30°

第12図 切削角が鉋刃の寿命におよぼす影響

第3表 工具材質別のプレーナ鉋刃の寿命(切削材長)

樹種	刃先角	(m)						
		ミズナラ	アビ	ト	ン	ハルニレ	ハルニレ	
		35°	45°	55°	35°	45°	55°	45°
工具材質	S K 3	670	635	360	55	48	44	290
	S K H 3	—	1,160	—	—	150	—	640
	G 3	3,100	2,900	1,550	2,200	1,950	1,450	2,200

注 被削面の不良率50%の寿命
 切削角: 61°, 切削代: 0.7mm, 送材速度: 6m/min, 鉋軸回転数: 5000rpm.

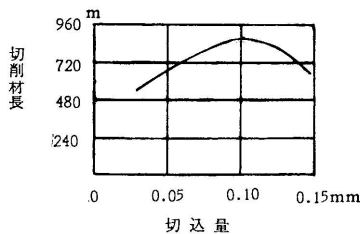
から30°までは急激に変化するが、それ以後はほとんど変化しない。

刃先角を一定にした場合の切削角の影響については切削角を大きくすると切削機構の変化のため切削抵抗が増大して磨耗を早め、またあまり

小さくするとにげ角の減少をもたらし、にげ面摩耗が早くなる。第12図⁴³⁾はその例で、切削角40~45°の間にもっとも寿命の長い点があることを示している。

切削速度が早くなると、それだけ単位時間あたりの仕事量が増大し、また工具の発熱も大きくなり、寿命が短くなることは明らかである。金属切削では、切削速度と寿命の関係式が求められているが、木材切削に関しては研究がなされていない。

切込量の影響については、切込量がある限度より小さい場合は比切削抵抗が大きく、また工具が所定量だけすぐに切込むことができずに材を圧するため、早く摩耗する。切込量がある程度厚くなると、切削機構が変化し摩耗が減少するが、さらに厚くなると切削抵抗が増大してふたたび摩耗が大きくなる。第13図⁴³⁾はこの状態を示している。



注 ヒノキ
 柁目面縦切削
 刃先角 20°
 切削角 40°

第13図 切込量が鋸刃の寿命に及ぼす影響

木材は異方性の材料であるため、被削材に対する切削方向が異なると寿命にちがいが生じることが推察されるが、研究した例は少ない。

3.6 工具の経済寿命の決定

金属切削の分野で使われる工具の経済寿命⁴⁴⁾⁴⁵⁾について簡単に述べる。

いま、単位切削量あたりの加工費をKとすると、これは

$$K = \frac{1}{Q} \left(Y + \frac{X}{T+t} \right) \dots\dots\dots(1)$$

で表され、ここにQは単位時間あたりの切削量で

$$Q = \frac{AVT}{T+t} \dots\dots\dots(2)$$

で表される。

また

Yは機械の単位時間あたりの工場経費(工具関係を除く) (円/min)

Xは1回の再研磨あたりの工具費(工具購入費と再研磨費) (円/回)

tは工具交換時間 (min)

Aは切削断面積 (mm²)

Tは工具寿命 (min)

Vは切削速度 (mm/min)

を表わす。

工具寿命 T と切削速度 V の間には

$$VT^n = c \dots\dots\dots(3)$$

の関係があり、n, c は定数で、n は通常 5~10 の値をとる。

ここで(1)式から、単位切削量あたりの加工費Kを最少にする切削速度 V_{min k} が得られ、またそのときの寿命 T_{min k} が得られる。

すなわち(1)式をVで微分し、それを0とおくと

$$V_{min k} = \frac{c}{\left\{ \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(t + \frac{X}{Y} \right) \right\}^n}$$

が得られ、これを(3)式に代入すると

$$T_{min k} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(t + \frac{X}{Y} \right)$$

が得られる。

同様に、(2)式から加工費に重点をおかないときの、最大生産量を与えるための切削速度 V_{max prod} とそのときの工具寿命 T_{max prod} が得られ

$$V_{max Prod} = \frac{c}{\left\{ \left(\frac{1}{n} - 1 \right) t \right\}^n}$$

$$T_{max Prod} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) t$$

となる。

木材切削では、(3)式が決定されていないため、以上のような経済寿命の計算ができない状態にあり、今後この方面の研究を進める必要がある。

3.7 木材切削での工具寿命の値

鉋削について第4表³⁵⁾、第5表²²⁾に工具寿命の例を示した。

木材の被削性(2)

第4表 プレーナ鉋刃の寿命 (1)

樹種	刃先角	ナ			ラ			ブ			ナ			ニ			レ			
		寿命	Δl	ΔS	寿命	Δl	ΔS	寿命	Δl	ΔS	寿命	Δl	ΔS	寿命	Δl	ΔS	寿命	Δl	ΔS	
SKH	3	40°	2,200	72	25	—	—	—	—	—	1,500	82	31							
	ッ	55°	1,950	54	25	2,100	50	20	1,800	60	32									
G	1	55°	5,800	51	24	5,400	47	19	9,000	61	31									

注 被削面の不良率50%の寿命
 切削角: 68°, 切削代: 1.0~2.0mm, 送材速度12.7m/min, 鉋軸回転数: 4500rpm.
 寿命: 切削材長(m)
 Δl : 第8図の l に相当 ($10^{-3}mm$)
 ΔS : 第8図の摩耗前のすくい面, にげ面と摩耗刃先線に囲まれた面積 ($10^{-4}mm^2$)

工具寿命に関する研究は, 一般に膨大な量の試験材と多大な時間を必要とし, また試験が長期間にわたることが多いためその管理が重要な問題となる。したがってなかなか実施しがたく, 木材切削においては統一的な研究がみあたらない。しかし木材切削の分野への自動化機械, 高能率機械の導入のためには, 解決しなければならない問題である。

第5表 プレーナ鉋刃の寿命 (2)

樹種	ミズナラ	ブナノキ		ダケカンバ		ハルニレ		エゾマツ		アビトン			
		寿命	Δl	寿命	Δl	寿命	Δl	寿命	Δl	寿命	Δl		
SK	3	635	19.5	660	18.0	500	15.0	300	14.0	155	9.1	48	35.0
G	3	2,900	22.0	3,550	16.7	3,800	13.8	2,250	16.7	2,650	10.0	1,950	15.0

注 被削面の不良率50%の寿命
 切削角: 61°, 刃先角: 45°, 切削代: 0.7mm, 送材速度: 6.0m/min, 鉋軸回転数: 5000rpm.
 寿命: 切削材長(m)
 Δl : 第8図の l に相当 (μ)