



小川正義(精密)

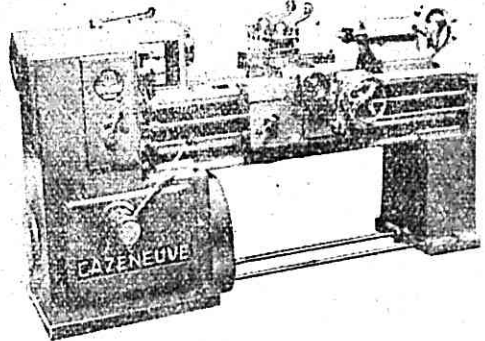
はしがき

アルミニウムは軟い金属であるから、鉛や銅と同様に切削が容易であると簡単に考えられやすい。なるほど純アルミニウムの軟質なものなら、木工用の工具を用いてさえ工作できないこともないし、また一般に加工に際してバイトが受ける切削抵抗が、鍛及び鋼系統の合金の場合に比して小さいという意味ではその通りなのであるが他方粘りが強い材料であるため、バイトにいわゆる構成刃先が生じ易く、これが工作物の寸法精度及び表面品位を損じ、また切屑が一回の切削の初めから終りまで連続して排出されるため、工作物及び工作機械にからみついてこれらの表面を傷め、さらに工作者に對しても危害を及ぼすこともある等のトラブルを惹起する點では、かならずしも切削容易とはいえないのである。

アルミニウム合金は戦時中航空機搭載用の各種機械類の部品として、非常に高精度のもの——例えば計算機械の歯車など——に到るまで盛に使用された。今日の我國ではかかる用途はなくなつたが、いぜんとして自動車その他のエンジンのピストンを始め、計器類や光學機械の部品等かなりの精密ものに用いられているから、切削加工上の特性が問題になる場合も決して少くはないのである。というのはアルミニウムの切削には、銅などのときとは全く異なる注意が必要だからである。

従來切削に関する研究は主として鍛及び鋼系統の合金に對して行われ、アルミニウムについてはあまり多くはないのであるが、これらの結果の中から、主要な事項を概説することにしよう。但し、アルミニウム合金といつてもその種類は甚だ多く、鑄造合金と鍛造合金及びそれぞれ熱処理如何によつてかなり性質も違うわけであるが、ここではそれらを概括的に取扱う。なお本誌1,2月號の連載講座、竹中規雄氏の「金属材料の切削加工性試験法」を参照していただくため、ところどころに「講座1」等と略記することを御許し願う。

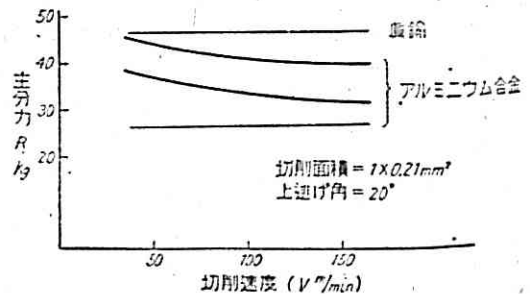
アルミニウムの切削加工



切削性について

切削性の決定には「講座1」に述べられている通り、刃物の壽命、切屑の生成、切削抵抗、寸法精度及び表面品位等の觀點に立つて試験を行い、これらの結果に基づいて総合的に判定することが必要なのであるが、その中のいずれを重視すべきかは、作業の目的、製品の個數或は要求される精度その他によつて異なるものである。極端な場合には、工作物の寸法精度及び表面品位が高いことのみが大切であつて、刃物の壽命にはかかわつていられないこともある。かかるときには勿論製品が高價なものになるが、それも止むを得ないのである。しかしながら今はいずれにとくに重點をおくということもせず、ただ一般的にアルミニウム合金の切削性について記すことにする。ただしアルミニウム合金相互の間だけでは、前記のような切削を行つての試験の外に、物理的、化學的な材料試験の結果による比較が、かなりの程度まで行えるものであることを述べておきたい。例えば硬度と抗張力、降伏點と伸び及び断面收縮、化學組成と組織等々のいずれかによる判定が、完全ではないができるのである。

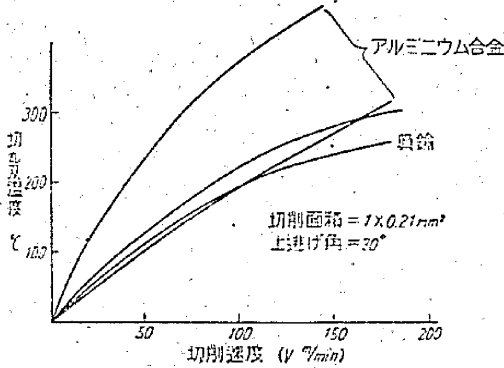
アルミニウムは一般に、バイトの切れ刃が喰込み、切屑を分離するのに小さな力で済む材料である。このことは切削性が良好な鋼と比較してわかる。第1圖はアルミニウムと四六銑銼との、切削抵抗の主成分(講座1參



第1圖

照)と切削速度との関係を求めて得られたものである。切削速度の大小によつて多少異なるけれども、一般に真鍮の場合より小さな抵抗を示す。鍛合金に較べれば、もつとずつと小さな割合なのである。アルミニウムは結晶構造的に考えると、面心立方格子型に屬し、原子の配列が稠密であつて送りに対する抵抗が大きいわけ、従つて鍛などより切削抵抗も大きいはずなのであるが、事實がその逆なのは、切削に伴う結晶の破壊は、その内部に生ずるものもあり、結晶粒間に起るものもあるから、アルミニウムではこの後者が容易に行われるためと考えられる。

このようにアルミニウムの切削抵抗は小さいのであるが切削中の切れ刃の温度試験を行つた結果によれば、逆に真鍮のときよりも高温になるのである。第 2 圖は切削速度に対する切れ刃温度曲線であつて、これで見ると低



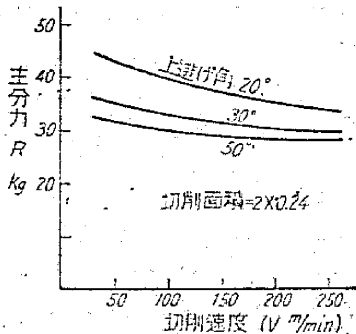
第 2 圖

切削速度の範囲内においてのみ、或る種のアルミニウム合金を切削する切れ刃温度が低い。切削抵抗の大小と切れ刃温度の高低とが必しも比例しないのは、切屑とバイトの表面との摩擦に基づくものであつて(講座 2 参照)従つてかかる試験によるのみでは、切削性の優劣は決められないのである。

もう一度第 1 圖を見ていただく。切削抵抗の主分力の大きさは、切削速度の大小によつて著しくは變化しない。他の金屬について知られているのと同様に、概して無関係と考えてよいようである。第 3 圖、第 4 圖もアルミニウム合金につ

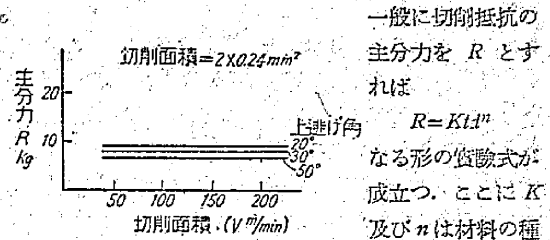
いてのものであるが、およそフラットな曲線が得られている。100m/min 以上の切削速度では、まづほとんど變動がないものと思つて差支ない。

しかし他の切削条件の中、切削抵抗の大きさに影響



第 3 圖

する因子がある。それは切込みの深さと送りとである。



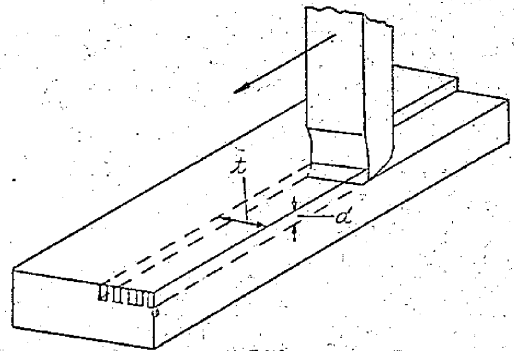
第 4 圖

一般に切削抵抗の主分力を R とすれば

$$R = Kt^n$$

なる形の實驗式が成立つ。ここに K 及び n は材料の種類による常數で、

t 及び d は平面切削のときは、第 5 圖に示される如き寸法である。ただし、圓筒面切削に對しては、 t のかわりに切込みの深さを、 d のかわりには送りをとらなければ



第 5 圖

ならない。アルミニウムにおいては上式の n の値を 1 としたものがたいあてはまる。即ち R はおよそ、 $t \times d$ (切削面積) に比例するのである。このことは後述の第 12 圖及び第 13 圖について確められる。それぞれにおいて、同一の上送り角 α についての R の値を讀むと、ほぼ切削面積に比例していることが分る。これがアルミニウムに關する特徴の一つである。他の金屬に對しては、上式の n が 1 以下の値をとり、 R は切削面積に對して一層複雑な變化を示すのである。

次に切屑の生成狀況についてである。既述の如くアルミニウム切削に於ては切屑は長く連つて排出される。そしてその切屑の形式は、切込みの深さ及び送り、切削角——或はバイトの上送り角——及び切削速度等の切削条件によつて決るもので、例えば切削角が大きいと卷り型小さい切削角では流れ型の切屑となり、その中間に切削角の限界點が存在する。また同一の切削角であつても、切削速度によつてこのような切屑型式の變化が認められ限界速度以上の切削速度では流れ型となるのである。これは精密工作に對して最も好ましい状態である。このことに關聯して、寸法精度及び表面品位を高くするという要求に對して、どうすべきであるかを考えてみよう。元來アルミニウムの熱膨脹係數は、鋼の約 2 倍程度であるから、切削による熱のための温度上昇に原因する工作物の寸法誤差及び曲りには、とくに氣をつけなければならない。前記の如く同一切削速度で、真鍮の場合よりも切れ刃温度の上昇が著しく、且熱傳導度も高い材料だから

である。

なおまた、アルミニウムの切削に際しては、120m/minの切削速度に於てもまだ構成刃先が見られることが報告されている。鋼ならば、70m/min前後の切削速度で既に消失してしまうのである。かかる構成刃先の週期的な生長、脱落が、寸法精度及び表面品位を害すると共に、工具を傷めるのであるから、少くとも150m/min以上の切削速度を用いる必要がある。上仕上では600~800m/min位まで高められる。このために、主軸の毎分回転数が大なる工作機械が要求されると同時に、高切削速度におけるバイト及び工作物の著しい温度上昇を防ぐための切削剤に対する要求がやかましくなるのである。軽合金切削用の工作機械としては、例えば12馬力のモーターを持ち、主軸の最高回転数が毎分3,200というような旋盤(外国製)がある。かかる機械では、モーターを初めとして總ての回転部分の動的平衡が十分に保たれていなければならない。また旋盤各部の剛性も十分に、びれを発生しないようなものでなければならない。我國で従来製作されてきた工作機械は、もつとずつと低速度で於てすら、かかる點に對してきわめて不十分なものは残念なことである。その他實際作業上の注意としては、高切削速度に於ては工作物を強固に取付けることが大切であり、従つて薄肉で大直径の製品の精密工作は、非常に困難となる。

さて、切削速度を上げて、他の切削条件が同じならば、切削抵抗の大きさが変わらないことは前述の如くであるが、切削面積を小さくすれば一層それを減らすことができ、従つて工作物に與える弾性變形も小さくし得、また温度上昇も少くなり、或はバイトの振動によつて工作物表面に與えるうねりも減つて、その表面品位が改善されることになる。しかしながらアルミニウム切削に於ては、切込みの深さをあまり小さくすると、切れ刃の磨耗がかえつて著しくなるので、切削面積を減少するには送り量を小さくするようにしなければならないのである。そのため前記の、工作機械に對する条件の中に、さらに送りをできるだけ小さくし得るといふ要求が加わることになる。

特別な高速度旋盤を用いても尚、直径が小さな工作物では、十分な切削速度が得られないことがあろう。普通旋盤ならなおさらのことである。かかるときには、工作物をドライアイスを用いて、 -15°C ~ -25°C くらいに冷却して切削することにより、良好な仕上面を得ることができる。しかしこのような場合にも、切削速度が遅ければ潤滑剤を使用しないと、やはり構成刃先が生じて仕上面は粗く、適当な潤滑剤を用いれば良好な表面が得られるのである。これによつてわかることは、切屑とバイト面との密着を防ぐことが、構成刃先の生成を妨げ、従つて精密工作にとつて都合がよいことである。なお低温切削の際切削速度を或る程度高めれば、潤滑剤なしに滑

らかな仕上面が得られることも確められている。

適当な注意を拂わずに切削された表面の仕上程度はきわめて悪く、例えば變形係数 λ (講座2参照)の値が、純アルミニウムで6.2などという結果もある。 λ の値は小さい程表面が滑かで、かつ組織の破壊も少いのである。真鍮では1.2くらいに止め得る。

序に述べておき、アルミニウムの加工面の仕上程度の測定に觸針法により、鐵針を用いるときには、荷重の大きさを十分小さくして、測定面に傷をつけないようにしなければならない。その荷重は通常0.2gr.位が適當とされている。昔昔機用の竹針を使つて實驗を行つた例もある。視覚に頼つて他の金属の仕上面との比較を行うことはいけないのであつて、同一粗さの表面ならば、アルミニウムやマグネシウムの方がよく見えるものである。

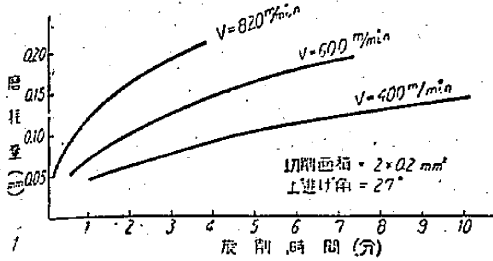
次にアルミニウム切削のための切削剤であるが、これは冷却性能に重きをおき、粘性が低い礦物油、とくに石油が良いとされている。粘度の高いものを用いると、切削中工作物の温度が上昇して直径が増加し、削り代が増して冷却後、寸法不足の製品となる。水溶液系統の石鹼液またはアルコール石鹼乃至は乳化油系統のものは、そのアルカリ性がアルミニウムを腐蝕させるおそれがあるので、使用しない方が安全である。切削剤は多量にしかも間断なく供給することによつて、前記の寸法誤差が生ずるのを防ぐと共に、バイトを一樣に冷却して、切れ刃の破損を保護することも大切な事柄である。

バイトの壽命について、軟い材料であるアルミニウムも、その粘性がきわめて強く、且高速度で切削されるため、バイトを磨耗させることが、短時間にして非常に著しいのである。單に切れ刃をすりへらすのみでなく、切屑がバイト上面を、そして工作物がバイト背面をこすつて行くため、切れ刃より少し引込んだ部分までひどく摩擦熱を持ち、バイト材料を軟化させ、次第に窪みを深く且深くさせる。その結果遂には、切れ刃をかくに至るのである。

切れ刃はあたかも、ラッピングを受けたかのように鈍くなつて行く。その程度は、他の条件が同じなら切込みの深さが小なるほど著しい。従つて高精度の切削においても、他の金属材料におけるが如き浅削りは適當ではないのである。このようなことはとくに、Siを含む合金に於て著しい。かかる合金は適當な熱處理により、析出しているSiを固溶體にしてから切削を行うべきである。

いま、Siを20%程度含む合金について、高速度鋼バイトを用いたときの旋削時間と、切れ刃の磨耗量との關係として得られているものを示せば、第6圖の如くである。ここに磨耗量としては、使用したバイトの背面における磨耗斑の平均の幅をとつている。それは實驗の結果この方が、バイト上面におけるものより、時間と共にその増加の仕方が著しいからである。この曲線により、切

切削速度の上昇が如何に切れ刃の磨耗を早めるかがわかる

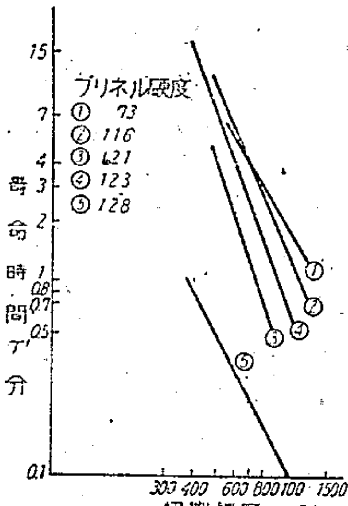


第6圖

そこで今度は、かかる磨耗量の幅が一定値に達するまでの時間を、バイトの壽命とすることにし、これを切削速度に對してプロットする。磨耗量の幅としては 0.2mm を限度とし、5種類の合金について對數方眼紙上に畫いたものが、第7圖の直線群で示される。これによると、

工作物材料の硬度の高低がバイトの壽命の短い、長いと直接的な關係にはないものもある。

もしバイトの壽命に重點を置いて材料の切削性を比較するならば、これらの圖の利用がきわめて有効である。即ち第6圖の如き曲線を、多くの種類の切削速度について得ておき



第7圖

または補間法によつて、一定の切削時間以内に、一定の磨耗量の幅を生ずる切削速度をとれば、この大小で以て切削性の尺度とすることができる。材料節約のためには切削時間を1分間に、また磨耗量の幅としては、0.05mm 0.1mm 乃至 0.2mm がとられる。また第7圖については、各材料に對する直線の位置又は傾斜をとればよいのである。

切削工具について

以上述べてきたことから容易に分るように、アルミニウム切削用の工具材料としては、少くとも高速度鋼を選ばなければならず、硬質合金工具なら一層よく、さらに適しているのはダイヤモンド工具なのである。ダイヤモンドバイトを用いて切削速度を高く、送りをも小さくすれば鏡面仕上を得ることができる。いずれの材料の工具を選ぶべきかは、製品の個數、要求される表面品位にも關係する。硬質合金工具やダイヤモンド工具は高價

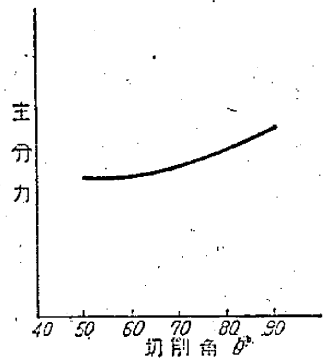
なものであるけれども、製品の數が多いときには却つて有利となる。ただしかかる工具材料は硬いけれども脆いものであるから、切削中衝撃が加わらないようにとくに注意すべきである。切れ刃の面はポリッシュするのがよくまた研ぎ直しを早い目に行つて、切れ刃の磨耗により切削動力が多量に消費され、かつ工作物の表面品位が落ちることを防止するようにしなければならないのである。

工具の形狀を定めるに當つての大切な要素の一つは、勿論切削抵抗になるべく小さいようにすることであるが、アルミニウム切削においては、切削速度がきわめて高いため、同一時間内に排出される切屑の容積が、他の金屬の切削の場合に比してはるかに大きく、これを旨く逃がしてやることも重大な要素となるのである。従つて鐵や銅系統の合金の切削工具と、アルミニウム切削工具との間には、その形狀に大きな差がある。以下に、主要な切削工具の形について大要を述べる。

1. 旋削及平削工具

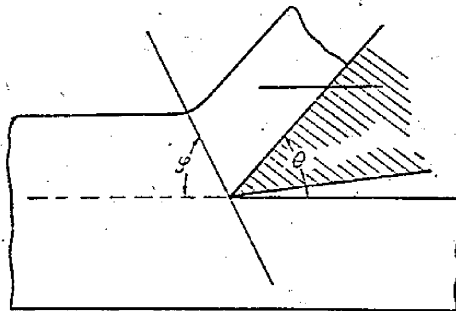
バイトの形狀を定める要素として、まず切削角が、切削抵抗の主成分の變化の様態に如何に影響するかを見ると、第8圖の如くである。即ち切削角 θ が $50^\circ \sim 60^\circ$

くらいのところで、およそ主成分が最低となる。 $\theta = 40^\circ \sim 50^\circ$ は刃先の強度を非常に低下させるから、とくに軟質のブリネル硬度が 60 以下程度



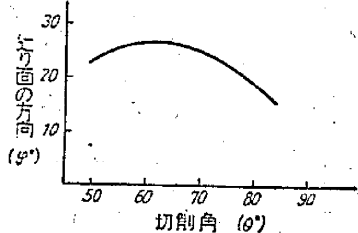
第8圖

のみ用いる。次に切削角と、切屑が這り起す方向(第9圖の ϕ)との關係に



第9圖

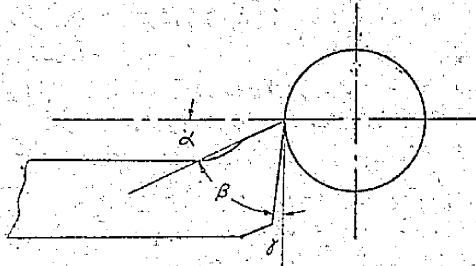
ついては、第10圖の如き結果が得られている。この ϕ の値の大小は、仕上面の良否と密接な關係にあるものであつて、 ϕ が小



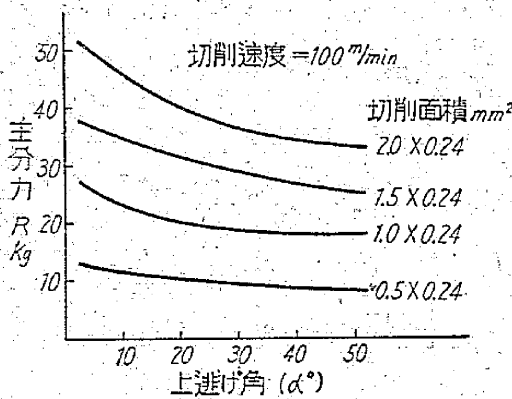
第10圖

いと刃先附近に龜裂が残り、従つて粗い面ができる。アルミニウムの場合には、 $\theta=60^\circ$ で $\phi=27.0^\circ$ の極大値をとる。以上の二點から考へて、切削角は一般に、 60° 附近がよいということになる。

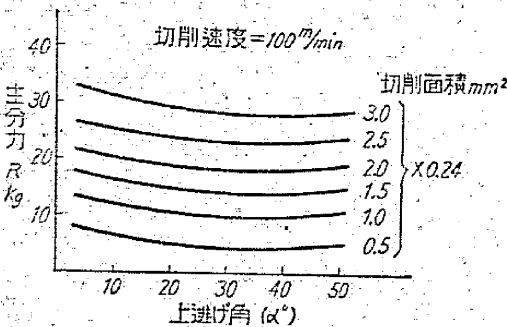
次に上逃げ角 α であるが(第 11 圖)、これが主分力に及ぼす影響は第 12 圖、第 13 圖に表わされる。合金の種類によつても異なるが、だいたい $20^\circ \sim 50^\circ$ の範囲にとるべきである。



第 11 圖



第 12 圖



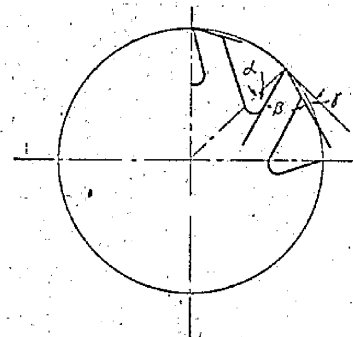
第 13 圖

また前逃げ角 γ は、バイト背面の磨耗を考慮して、ほは鋼の場合と同程度、 $6^\circ \sim 10^\circ$ にとられる。 γ の大小は主分力の大きさに影響はしない。

以上により、アルミニウム切削バイトでは、上逃げ角を非常に大きく、従つて刃先角を小さくすべきものであることになる。次表はその標準を示す。

工作物材料硬度 ブリネル	上逃げ角 α°	刃先角 β°	前逃げ角 γ°
50 以下	55~50	30~35	6~10
50~80	50~40	35~45	"
80~100	40~35	45~50	"
100 以上	20~15	60~65	"

2. フライス 一枚の歯の刃先に與うべき角度については、バイトと同ようである。フライス削りによつて高精度の表面を得るには一般に、刃先の運動を幾何學的に考へても、また切削抵抗の變動を少くするためにも、カッターの齒数を多くして、同時に切削にあずかる齒数を増すのがよいのであるが、アルミニウム切削においては、切屑がたまるスペースが大きくなければならないから、これによつて齒数が制限される。カッターの直径を大きく

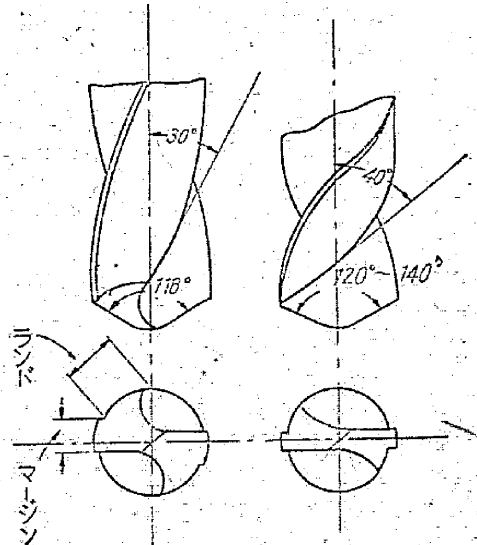


第 14 圖

くしかも齒数を6枚とか8枚とかに少くし一枚の歯の後面から次の歯の前面までの空隙を大きくする。しかし齒数を減らすことにも利點はあるので刃の滑りが少く従つて磨耗は少くなり、また切削に浪費される動力も少くてすむのである。

カッターの幅は狭い方が平滑な切削が行われる。或は振れ双型で、振れ角を $40^\circ \sim 45^\circ$ くらいに大きくし、齒数が少くても、動力の變動が少いようにする。

3. ドリル 輕合金用のドリルに関しては、我國にも、大越博士の詳細な研究がある。

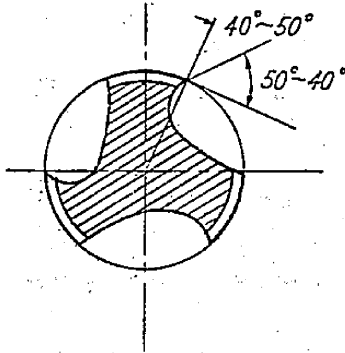


普通換れ鑽 アルミニウム用換れ鑽

第 15 圖

結局、切れ味及び耐久力並に切屑の排出等を考慮した上で、換れ角を大きく 40° 附近にとるのがよい。かつ溝を滑かに仕上げ、この容積をなるべく大きくするためにランドをせまくする。またドリルが喰込んで行くときの案内になるマーヅンをもせまくして、摩擦による發熱を避けるのである。錐角は 120°~140° とされている。

4. タップ 断面圖で見て、刃の上逃げ角は 40°~5° に、切削角が 50°~40° になるように作られる。ランドの長さを短くして摩擦を避ける。切れ刃でない方の縁が逆轉のとき喰込まぬような角度になるように、かつ切屑用のスペースが十分あるように溝を切る。それには特殊な断面のカッターが必要である。



第 16 圖

研削及艶出し

適当な硬度及び粒度の砥石を用いれば、アルミニウムも研削することができるが、目詰りを起し易い。砥粒には SiC の粒度 30~80# 位のもが、結合剤にはエラストックなものがよい。硬度はソフト級が適當である。砥石の圓周速度は少くとも、1200 m/min 以上にとる。

また、麻かフランネルで作つた回転板に、膠で金剛砂を固着し、艶出し蠟またはベンガラを塗つて艶出しを行えば、光澤のある表面が得られる。

いずれの場合にも、工作物が直ぐ過熱されるという難點がある。

切削性の改善

以上述べてきたように、アルミニウムの切削加工にはかなり困難な問題が多いのである。そこで、特殊な元素を加えた合金を作ることによつて、これを改善しようとする試みが、最初にアメリカで、次いでドイツで盛に行われた。その結果として現われたのが、いわゆる free cutting aluminium, Aluminium Automaten-Legierung

である。その特徴は、機械的性質にはほとんど變化がなくて、第一に切屑が短く切れることである。そのため、滑かな仕上面が得られ、かつ表面を傷う心配がなくなつた。勿論切削速度の影響はあるが大凡銼と同様な切屑が出る。第二にバイトに大きな上逃げ角を附する必要がないことである。切削角を小さくすると、却つて連なつた切屑が出る。切削角は大きい方がよく、上逃げ角は 0°~2° くらい、前逃げ角もごく僅か與えるだけで済む。このことは、總型バイト又は總型カッターでの精密仕上において、非常に有利になる。例えば、ねじ切りバイトでは、上逃げ角を與えれば輪廓が崩れて了うし、そうしなければ切れ味が悪い。兩者をとろうとすると、面倒な設計と工作が必要となり、かつ壽命も短い。上逃げ角を要しない材料ならば、かかる面倒から救われるわけである。第三に特殊な工作機械の必要がなく、通常のもので間に合うことである。また切れ刃の温度上昇も低いことが實驗的に知られている。

このような合金といつても、その種類は甚だ多く、我國でも屢時中研究せられたことがあるが、ここにはアメリカの特許の中から、二三のものを拾い出してその組成を記すに止める。

- Cu 6%, Pb 0.5%, Bi 0.2~1.5% 残り Al
- Cu 4.4%, Mn 0.8%, Si 0.8%, Bi 又は Cd 1% 残り Al
- Si 1%, Mg 0.6%, Cd+Sn 1~4% 残り Al
- Si 5%, Cu 1.2%, Mg 0.5%, Bi 4.0% 残り Al (1950. 1. 4)

文 献

- H. Schallbroch: Prüfverfahren für die Zerspanbarkeit von Leichtmetallen; Aluminium, Bd. 19 (1937)
- A. Wallich u.F. Hunger: Untersuchung der Drehbarkeit von Leichtmetallen; Masch. Bau/Betrieb, Bd. 16 (1937)
- F. Pütz: Spanabhebende Werkzeuge für die Bearbeitung von Leichtmetallen; Metallwirtsch. Bd. 18 (1939)
- E. Herrmann: Schneidbearbeitung des Aluminiums; Techn. Zbl. für prakt. Metallbearb. Bd. 47 (1937)
- H. Klein: Fräswerkzeuge für die Bearbeitung von Leichtmetallen; Aluminium, Bd. 19 (1937)
- H. Opitz: Neue Untersuchungen über die Zerspanbarkeit von Leichtmetallen, insbesondere von Automaten-Legierungen; Aluminium, Bd. 19 (1937)
- 大造勲二兵: 鋸合金用鋸の研究; 鋸齒機械; 第 11 卷 9, 10 號 (昭和 19 年)

下記の寫眞及圖面は 1947~1949 年の "Revue de L'Aluminium" 誌より轉載

- 表紙 P. 25 第 16 圖 B,C,D; P. 26 第 16 圖 E,F,G; P. 27 カット; P. 28 第 1 圖;
- P. 31 第 3, 4 圖; P. 32 第 5 圖; P. 37 第 4 圖; P. 38 第 5 圖; P. 39 カット; P. 40 第 2 圖;
- P. 42 第 5 圖; P. 43 カット; P. 56 カット; P. 81 カット; P. 86 カット; P. 90 カット;

下記の寫眞は 1949 年 "Engineering News Record" 9 月号より

- P. 33 カット, 第 1 圖