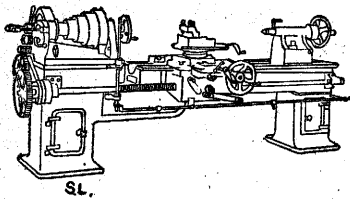


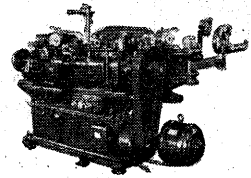
講座

金属材料の切削加工性試験法

[2]



竹 中 規 雄 (機械)



第3章 切削温度試験

3.1 切削温度 双物が加工物を削る場合に加工物が双物に及ぼす抵抗に對してなされる仕事はほとんど熱としてあらわれる。即ち加工物が双物により壓縮されて變形し切屑となつて分離する場合に、材料の内部でなされる仕事と、切屑と双物の掬い面との間及び加工物と双物の前述面との間の摩擦仕事とが熱を發生させるのである。この熱は、一部は切屑の温度を高め切屑と共に去り、一部は加工物の内部へ傳導によつて逃げ、一部は切屑と双物の接觸面から双物に傳つて逃げる。従つて切削が行われる部分即ち双物の切刃及びそれに接する切屑となるべき部分の温度は、熱の發生と傳導及び傳達により取り去られる量との平衡した温度にまで高まるのである。この切削中における双先の温度即ち切削温度は双物の物理的性質に影響を與え、とくにその耐摩耗性と密接な關係があると思われるので、切削温度は双物の壽命に極めて著しい影響を及ぼすものと考えられる。

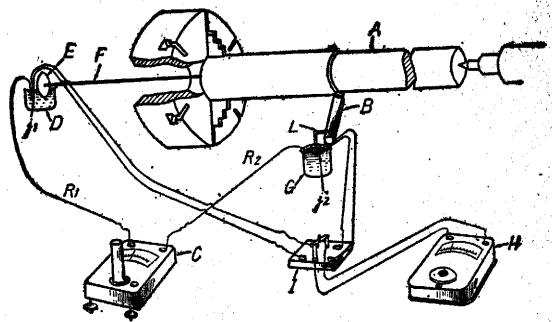
切削条件による切削温度の變化は Schallbroch⁽¹⁵⁾ 及び Schaumann⁽¹⁵⁾ 並に著者⁽¹⁶⁾ の實驗結果によればだいたひ次式の如く表わされる。

$$\theta = kT^{\alpha}v^{\beta} \dots\dots\dots(3.1)$$

ここに θ = 切削温度 °C; v = 切削速度 m/mm; T = 切屑の平均厚さ、即ち切屑面積 (切込×送り) を實際に切削を行う切刃の長さで割つたもの mm; α, β, k = 加工材料及び双物の切削角等による常數。但し α は鋼材を切削する場合には材料によつては殆ど變化せず、 $\alpha=0.3$

即ち切削温度は切削速度と共に上昇し、また切屑の平均厚さと共に高い値を示すのである。なお實驗結果⁽¹⁵⁾ によれば切削温度は双物の材料にはほとんど無關係と考えられるので、全く加工材料自體の切削に對する性質を表わすもので、従つてもし切削温度と双物の壽命に一定の關係があれば、即ち双物に對し切削温度とそのときの壽命の關係がわかつていれば、加工性に對する双物材料の影響を全く除くことができるのである。

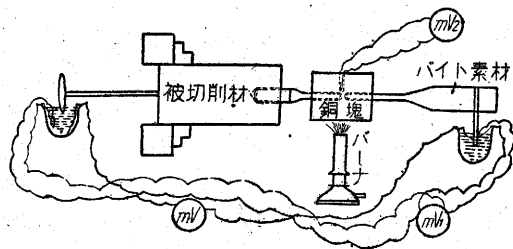
3.2 切削温度測定法 從來切削温度の測定について多くの方法が提案されているが、双先における平均温度を簡単に求める一つの方法に Gottwein⁽¹⁷⁾ 及び Herbert⁽¹⁸⁾ が考案した下記のようなものがある。即ち加工物と双物を熱電對のエレメントと考え、その接觸點即ち切削を行つている部分の切削温度による熱起電力を測定する。



第9圖

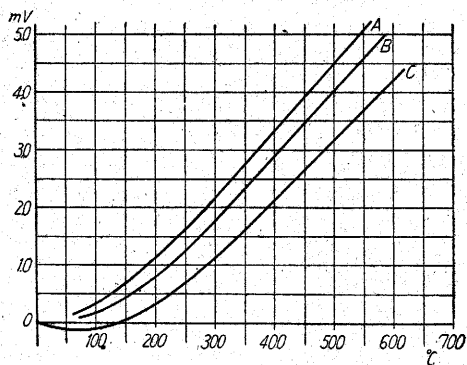
のであつて、この原理によつて著者の實驗に用いた裝置⁽¹⁶⁾を第9圖に示す。Aは試験しようとする材料でこれを旋盤に取付け、双物Bを旋盤の双物臺に電氣的に絶縁して(エポナイト板、雲母等を用いる)取付ける。加工物から導線を引出すために旋盤の主軸(中空である)を貫通して加工物と同一材料の棒Fを加工物にハンダ付けし、その末端に銅板をハンダ付けして水銀槽Dに浸しておき、これから導線R₁によりミリボルトメータCに結ぶ。双物側は双物と同一材料の鉤Lを双物に取付けその先端から導線R₂によりCへ連絡する。切削を行つていると切削温度のために双物の末端の温度も相當高くなるために銅線との接觸部にかなりの熱起電力を生ずるので、それによる誤差を防ぐために導線の接觸部は水槽Gの中に浸し室温に保つようにする。なお念のため水銀槽及び水槽にはそれぞれ銅-コンスタンタンの熱電對j₁, j₂を配しミリボルトメータHによりその温度上昇を検査する。銅-鋼の熱起電力は双物材料-鋼の熱起電力より大きいのでこの點はとくに注意する必要がある。

さてこの測定法で最も問題となるのは、熱起電力と温度の関係の Calibration の方法であるが、従来の文献に



第 10 圖

はほとんどその方法が発表されておらず、また二三發表されている方法も妥當と思われないので、著者は第 10 圖の如く切削試験の際の回路をそのまま用い、加工物と双物が切屑面積に近い小面積で銅を介して接觸するようにして、この銅のブロックをガスの炎によつて加熱しそのブロックの温度をクロメル—アルメル熱電對により測定して Calibration を行つて好成绩を得ている。もちろん炎が銅ブロック以外の部分を直接加熱しないように保護するのである。第 1 表の如き 3 種類の鋼材に対する高速度鋼第 2 種製双物の温度—熱起電力曲線を第 11 圖に例示する。



第 11 圖

ところでこの方法の缺點と考えられることは上記の如く加工材料と双物の組合せによつて Calibration curve が異なるため一々實驗によつて求めなければならない煩雜さと、Calibration curve に反向點があるために、比較的低温の部分では同じ起電力に對し温度が 2 點あることであろう。

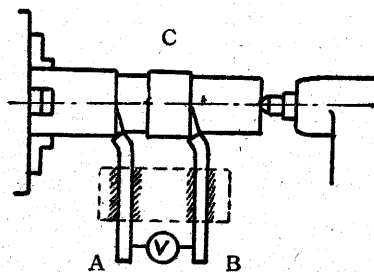
材料	炭素量%	引張強さ kg/mm ²	ブリネル硬度
A	0.70	73.8	212
B	0.45	69.3	201
C	0.08	42.2	116

第 1 表

そこで Reichel⁽⁹⁾ の考案したいわゆる 2 本バイト法が用いられるようになった。この方法は第 12 圖の如く

異なる材質の 2 本の双物 A、B を全く同一形状に仕上げ電氣的に絶縁して双物臺に取付け、同一加工材料 C を同時に同じ切削條件で切削し、この際兩双物の切削温度は等しいものと考えられるから、第三の金屬 C を介して A、B の兩双物が一定の温度に加熱されたこととなり、その際發生する熱起電力を測定するのである。

この配列の場合には加工物は單なる導線として使用されたことになり、A、B の兩双物について一度 Calibration を行つておけば如何なる材料を削る場合にも熱起電力から容易に温度が求められるのである。双物としては例え



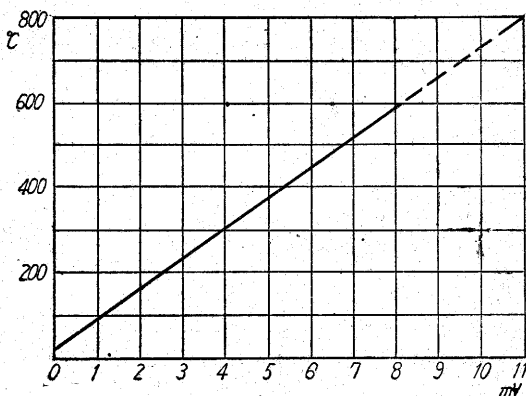
第 12 圖

ば高速度鋼と硬質合金とを用いればよい。この場合の Calibration curve の一例は第 13 圖の如くだいたい熱起電力と温度は直線的な關係になつている。この方法はきわめて簡單で具合がよいので廣く用いられているようであるが、唯切削温度の時間経過を求める場合には不適當である。

3.3 切削温度と双物の壽命

切削温度と双物の壽命との關係については、Reichel が實驗結果から推論して提唱した次のような説が行われている。

一定の材料を同一双物で切削する場合には、切屑面積が種々に異なる場合にも、その切屑面積で双物の壽命時間を一定の値にするような切削速度 (例えば v_{30} , v_{60} 等) を用いて切削すればその時の切削温度は一定の値を示す。



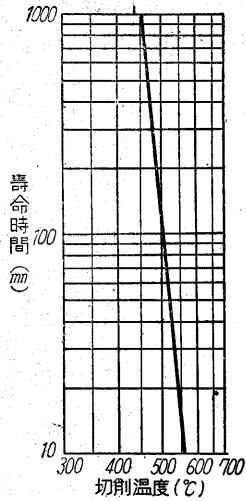
第 13 圖

これによれば、一定の材料を削る場合には切屑面積の如何を問わず、双物は一定の温度に一定の時間保たれば寿命に達するわけである。

Schallbroch 及び Schumann¹⁵⁾ はさらにこれを加工材料の異なる場合にまで拡張し、加工材料の加工性を表わすものとして切削条件と切削温度の関係を求め ($\theta-v$ 曲線)、双物の特性を表わすものとして切削温度と寿命時間の関係を求めておけば ($M-\theta$ 曲線)、加工材料と双物の

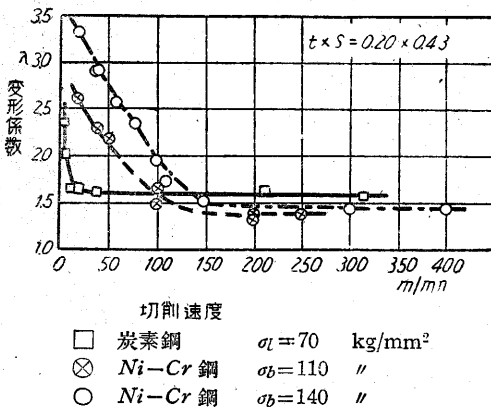
任意の組合せの場合の切削条件と寿命の関係は ($M-v$ 曲線) これらの二曲線から圖上で求められることを示し実際に2種類の鋼材を18-4-1型高速鋼双物で切削した場合の寿命を實驗により求めて、これが計算値と±3.5%の範囲で一致することを報告している。

なお著者¹⁶⁾ も前節に示した3種類の鋼材を同一の高速鋼第2種製双物を用いて切削し、切削温度及び寿命を測定し、双物の寿命と切削温度の関係を求めた結果、切屑の平均厚さ T の範囲が餘り廣くない場合には3種類の鋼材から得られた値は殆ど同一曲線上に載り、双物の寿命が加工材料の如何によらずもつばら切削温度によつて定まることを確めることができた。0.3mm> T >0.03mmの場合の切削温度—寿命の関係は第14圖に示すようになった。切屑面積の異なる場合の切削温度は(3.1)式の関係によつて容易に換



第 14 圖

算することができる。この結果、材料の加工性はきわめて簡単な試験によつて切削温度を測定すれば容易に求められることとなつたのである。



第 15 圖

さらに材料を鋼材以外のものに拡張し得るものと思わ

れるので目下研究中である。

また切削温度は双物の寿命の判定に用いることができる。即ち寿命に達する直前に切削温度は一旦やや下り寿命に達する瞬間に急激に一段と高くなるのである。この時期は丁度白輝制動の時期と一致している。

なお切削抵抗の主成分と切削温度は必ずしも比例していないので切削抵抗の測定により寿命の比較を行うことは困難である。

第 4 章 仕上面の粗さ及び切屑の形状

4.1 仕上面の粗さ及びその試験法

仕上面の粗さは削り出される切屑の形状(裂断型、剪断型、流れ型等)によつて非常に異り、この切屑の型は加工材料及び切削条件、双物の角度等によつて異なることは一般に知られていることである。また切削の型が同じ場合にも上記の各項目によつて著しく變化している。とくに流れ型切屑の場合には構成双先(Built-up edge)の發生が大きな影響を與えており、一般には流れ型で構成双先を伴わぬ場合が最も良好となつている。

切削条件と粗さの関係については一般的な関係は求められていないが、著者は軟鋼、半硬鋼、眞鍮及び砲金を用いて實驗を行つた結果次の如き関係を得た。

$$\eta = ce^{-\epsilon v} (1/r)^{-\mu} s^{-\nu} t^{-\lambda} \dots \dots \dots (4.1)$$

ここに η = 粗さ係数 = $\frac{\text{實際の仕上面の粗さ}}{\text{仕上面の理論的プロフィールの粗さ}}$
 v = 切削速度 m/mm; s = 送り mm/rev; t = 切込 mm; $c, \epsilon, \mu, \nu, \lambda$ = 双物の角度及び加工材料による常數。ただし μ, ν は大體常數であるが嚴密には切込 t の一次式で表わされる。

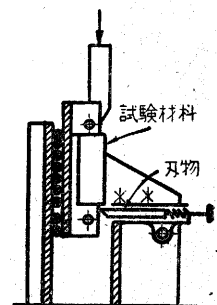
したがつて各種の材料の仕上面粗さの比較には、一定の切削条件で加工した面について検討しなければならない。

粗さの測定法には周知のような各種の方法²¹⁾があるが普通觸針法が廣く用いられている。

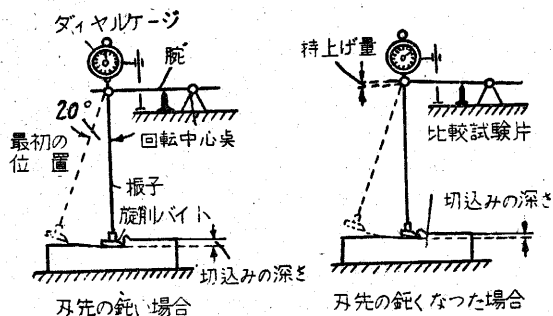
なお流れ型切屑の場合には、仕上面の粗さを直接測定するかわりに簡単に變形係数をもつて比較する方法が提案されている。²²⁾ 變形係数とは

$$\lambda = \frac{\text{切屑となる部分の切削前の長さ}}{\text{實際の切屑の長さ}}$$

であつて、これを求めるには例えば加工物の一部に軸方向に狭い溝を削り、これに適當な異種の金屬(鉛、ホワイトメタル等)を鑄込んでおいて切削すれば加工物の圓周に等しい部分が切屑となつてからの長さが容易に求められる。その測定結果の一例を第15圖に示す。だいたい仕上面の



第 16 圖



第 17 圖

粗さと同様な傾向を示している。

4.2 切屑の形状

切屑の形状は前述の各試験を行う際に直接観察によつて或は寫眞に撮影して比較するか、または特別の装置を用いて切屑の形成状況を、顕微鏡寫眞或は顕微鏡高速寫眞²³⁾に撮つて行つている。實用上は主として観察によつて判断している。

4.3 静的切削試験

實際の生産作業に用いられる切削条件における材料の特性をきわめて低い切削速度における實驗結果から判断しようとする静的切削試験が Krystof²⁴⁾によつて提案されている。

この方法は第 16 圖の如き装置により、1~2cm/mn のような極めて遅い切削速度で平刃の双物を用いて材料を切削し、その時の切削抵抗、切屑の形状、仕上面の粗さ等を求めて、各種の材料の加工性の順位を判定しているのである。この方法は切削現象の塑性學的研究の方法としてはきわめて興味のあるものであるが、加工性の判定法としては、充分信頼し得るものは認められていない。

Schallbroch²⁵⁾はこの方法による判定結果と實際に切削加工を行つた場合の實驗結果を比較して、各種の輕合金の仕上面粗さ及び切屑の形状についての判定はよく一致しており、鋼材の場合には充分一致しなかつたことを報告している。さらに今後の検討によつてはきわめて簡単な試験法として利用し得るものと思われる。

第 5 章 その他の試験法

5.1 Leyensetter の振り子試験法²⁶⁾

この方法は仕上削りの

場合の双物の磨耗の間接的測定法である。先ず標準材質の一定形状の双物を第 17 圖に示すように支點が自由に上方に動けるようになってゐる振り子の下端に取付け、下方の臺上に固定した一定の金屬材料に對し一定の切込量になるように高さを調整して、所定の角度 (20°) から振らせる。研削仕上をした新鋭の双物の場合には双物は所定の切込で材料を削り、振り子の支點は動かないが、この双物を旋盤に取付け試験しようとする材料を一定の切削条件で一定の切削距離だけ切削した後に (この条件は普通切込 0.2mm 送り 0.43mm/rev. 切削長さ 25m) 再びこの振り子に取付け同一条件で振らせると、双先の磨耗が生じているために双物は所定の切込量まで切削できずに、振り子の支點が上方へ逃げるようになる。この支點の動きをダイヤルゲージで讀み取るのである。試験しようとする材料を切削する場合の切削速度を種々に變えて實驗し、切削速度と支點の動きを plot し、この形から材料の加工性の順序を判定するのである。この方法によれば、ごく僅かの双先の磨耗も容易に見出すことができるといわれているが、双物に構成双先が附着する場合には測定點が散つて判定が困難となる。この方法による判定結果と實際の加工性との關係についてはなお實驗を重ねる必要があるようである。

5.2 切削力試験

材料が双物に及ぼす切削抵抗力は切削に要する仕事量を左右し、したがつて切削温度及び双先の磨耗に著しい影響を及ぼすものと考えられるので、材料の切削力を測定することによつて加工性の判定を行うことも考えられる。しかしながら切削温度は双物と切屑の間の摩擦仕事による發熱にも關係するので、切削力の小さい材料が常に切削温度が低いとは限らないとは前述の Schallbroch の¹⁵⁾報告にも見られる。

もちろんだいたい傾向としては切削力の低い材料が加工性は良好なのであるから、化學組成の近似した同一

第 2 表

試験法	試験項目	双物の壽命	仕上面の粗さ	切屑の形状
本格的壽命試験		④		
圓板切削試験		A		
切削速度増加試験		B		
切削温度試験		④ ⑤		
仕上面の粗さ測定			④	
變形係数の測定			B	B
切屑の觀察及寫眞撮映				④
切削狀況の高速寫眞撮映			B	⑤
静的切削試験			B	B
Leyensetter の振り子試験		B		B
切削力測定		⑤		
機械的性質		⑤	B	B
化學組成及結晶組織		B	B	B

系統の材料と比較して、加工性の順位の判定を行うことはできる。また切削力の3分力(主分力, 送り方向分力, 背分力)を測定することによつて、切削力と同時に切屑と刃物の間の摩擦係数を求めるならば加工性の一般判定ができるものと思われるが、未だにこれについての研究は見當らないようである。切削力測定法の説明は紙面の関係上省略する。

5.3 材料の機械的性質による判定

普通で使用されている金属材料については、同一種類の材料(例えば、鋼、鑄鋼、鑄鐵等の区分)の中ではその機械的性質(抗張力, 伸率, 硬度等)によつて加工性を判定することができる。例えば海老原教授²⁷⁾は従來發表されている實驗値を取纏めて、鋼材を高速度鋼刃物で切削する場合に、一定の壽命時間に対する切削速度は他の條件が一定ならば材料の抗張力の $\frac{2}{3}$ 乗に逆比例することを示している。また鑄鐵、鑄鋼及び鋼に対してはWallichs及びDabringhaus²⁸⁾の作成したノモグラフが發表されている。しかしながら特殊な元素の加わつている材料では加工性は機械的性質のみによつては判断できない場合がある。なお材料の熱処理によつても加工性が異なる場合も多いので、機械的性質と加工性の関係についてはなお今後の研究が必要であろう。

5.4 化學組成及び組織による判定²⁹⁾

材料の化學組成及び結晶組織によつて、その加工性は著しく異なつているのであるが、その相互の関係については多くの研究が行われている。そこで加工性の未知の材料の組成及び組織等を既に實驗によつて加工性の求められている材料のそれと比較することによつて加工性を判定することができる。しかしながらその比較には組成及び組織の近似した材料を標準にして行わなければならないので、新しい組成の材料等の加工性の判定には用いることができないし、また組織の比較は主観的な觀察によるのでだいたいの順位の決定に止まるであろう。多くの材料に對し豊富な資料が完備されればこの方法はきわめて簡単な試験法として使用することができる。なお化學組成或は結晶組織の中の一つのみによつて加工性の判定を行うことはきわめて危険である。

第6章 總 括

金属材料の加工性の中で、刃物の壽命, 仕上面の粗さ及び切屑の形狀に關する性質の試験法の中主要なものについてだいたいの説明を行つたのであるが、切削力の測定法については、紙面の関係上別の機會に譲ることとした。³⁰⁾

これらの試験法をその試験し得る對象と共に表示すれば第2表のようになる。表中Aはその試験結果の數値を直接生産作業の現場に利用し得るもの、Bは加工性の既知の材料と比較することによつて加工性の順位を決定し、場合によつては現場に利用し得る數値を得ることが

できるものである。○印で圍んだものはとくに適當と思われるものを示してある。

なお前にも記したように、加工性は加工の方法に對して多少異なるもので、今回はその基礎的な例として旋削の場合に對してのみ説明を行つたのである。穿孔, フライス削り等加工法の異なる場合に對しても同じように種々の試験法が考えられる。現場における多くの經驗と研究室における成果を十分に關聯づけることによつてさらに簡單な方も十分信頼し得る試験法を確立することが期待される。また材料の使用者とその生産者との連絡を更に密接にして漸次わが國の材料の加工性を改良し且加工性の良い新しい材料が生産されることを希望する。

本文の内容については著者の淺學のため見落し或は獨斷の點も多々あることと思われるので、諸賢の叱正をお願いして擧筆する。(完) (1949.12.8)

文 獻

- 15) Schallbroch und Schaumann: Zeitschrift des VDI. 1937 p. 325.
- 16) 竹中: 昭和 23 年 4 月 1 日. 機械學會講演會にて發表.
- 17) Gottwein: Maschinen-Bau. 1925. p. 1129 及び p.1926.
- 18) Herbert: Proceeding of I. M. E. 1926. p. 289.
- 19) Reichel: Maschinen-Bau. 1936. p. 187.
- 20) 竹中: 昭和 24 年 4 月 5 日 機械學會講演會にて發表.
- 21) 例えは, 精機學會編集: 表面粗さとその測定法.
- 22) Leyensetter: Maschinen-Bau/Betrieb 1932. p. 503.
- 23) Schwerd: Zeitschrift des VDI. 1936. p. 233.
- 24) Krystof: Berichte über betriebswissenschaftlichen Arbeiten Bd. 12. 1939. 邦譯. 蒲池: 金屬切削の工業力学.
- 25) Schallbroch 文獻 24)
- 26) Leyensetter: Maschinen-Bau/Betrieb 1932. p. 221. Grundlagen und Prüfverfahren der Zerspanung. 1938.
- 27) 海老原, 益子: 日本機械學會誌. 昭和 21 年 6 月 p. 252.
- 28) Wallich und Dabringhaus: Maschinen-Bau. 1930 p.257. Giesserei 1930. p. 1169.
- 29) A. S. M.: Machining of metals. 1938.
- 30) 切削力測定法については下記の書籍の中に説明されてゐる。
大越: 工具試験法(實驗工學講座の中) 共立社。
吉城: 切削性と快削調. 常盤書房。

四 月 號 は

「アルミニウム特集」

御 期 待 下 さ い

☆

☆

☆

☆