

$$\phi(x) = 2^{-1.3} \left[\frac{2x \log x - x^3 + x - 2 \log x + x^2 - 1}{x^2 - 1 - x^2 \log x - \log x} \right]^{1.3}$$

$$\Psi(y) = 2^{-1.3} \left[\frac{-2y \log y + 2 \log y + y^2 - y^3 + y - 1}{y^2 - 1 + y^2 \log y + \log y} \right]^{1.3}$$

$$\lim_{\substack{r_1 \rightarrow 0 \\ (x \rightarrow \infty)}} \phi(x) = 1, \quad \lim_{r_1 \rightarrow 0} \sigma_2 = \sigma = WD/a \cdot D/L, \quad \lim_{\substack{r_1 \rightarrow 0 \\ (y \rightarrow 0)}} \Psi(y) = 1$$

次に円管の場合の Le'vêque's Asymptotic Solution は

$$Nu = \frac{3^{1/3} \sigma^{1/3}}{\Gamma(4/3)} = 1.615 \sigma^{1/3} \quad (11)$$

ϕ, Ψ の数値計算例 (7桁対数表, 計算器使用。次の数値は4桁迄で正しい。)

x	1.5	2	3	4	5	6
ϕ	1.1744	1.2010	1.2478	1.2888	1.3255	1.3589

y	0.7	0.5	0.3	0.25	0.20	0.16
ψ	0.5606	0.6913	0.8054	0.8325	0.8593	0.8806

5. 結論: (11)式のDの代りに流体力学的直径 $2(r_2 - r_1)$. 従つて σ の代りに σ_2 を代入した値よりも(9),(10)式はそれぞれ $\phi(x), \Psi(y)$ だけ異なつた値となる。すなわち従来⁽¹⁾の如く二重管の Nu_1, Nu_2 を求める方法として円管の式に流体力学的直径を代入した値よりは $\phi(x), \Psi(y)$ だけの補正を要することになる。計算用数値表も作製したが省略する。終りに御懇切な御援助を賜はつた松山英太郎博士に心からの感謝を捧ぐ。

高温切削に関する一、二の考察

松井 正 巳

1. 緒 言

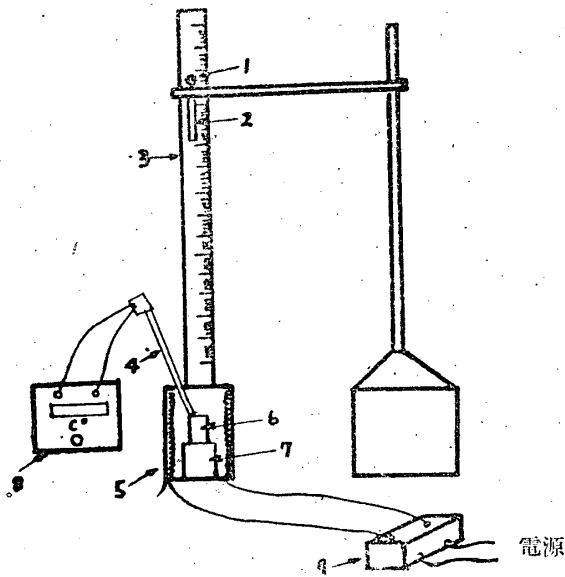
最近工作方面で問題になつてゐるものに超高速切削法並びに高温切削法がある。いづれも高温における被削材の軟化を利用しているものであり、すでに米国においては James 氏の色々の基礎的研究が発表され⁽¹⁾ 実用の域に達せんとしてゐる。我が国においても戦争中アルミニウム軽合金のダイヤモンドバイトによる超高速切削ならびに特殊鋼の高温切削等が行われたが基礎的研究はあまり行われていなかつた。最近になつて段々この問題に関する研究が発表され、⁽²⁾ 又現場においても積極的に実用化に対する努力がは⁽³⁾ らわれているのは喜ばしいことである。著者もこの問題には多大の興味をもち、二三の実験をこころみた。ただ設備の関係上不十分な実験に終つたのは遺憾である。

著者は黄銅を高速鋼バイトを用いて高温切削をこころみた。高温切削の目的としては常温では、ほとんど加工のできないものの加工と、

常温で加工できるが更に加工能率をまそうとする場合の二つが考えられる。いづれにしても被削材の高温における軟化を利用しているわけであるが、実験室の実験として一番簡単な場合をえらび黄銅を高温に熱して(今の場合 400°C) 高速度鋼バイトで削り、その時の馬力当りの加工量の増加の有様、すなわち同一の加工条件における所要馬力の減少の状態をしらべた。なお高温切削に関する報告としては前記の James 氏の研究があり、我が国ではあまりみうけないが精密機械誌の17巻2号に鉄道技術研究所の佐藤⁽⁴⁾ 技官の簡単な紹介記事がある。

2. 高温における被削材の性質

高温切削が高温における被削材の軟化を利用するものである以上、まず高温における被削材の性質をしらべる必要がある。著者は被削材の性質のうち硬さをしらべてみた。すなわち高温切削せんとする被削材(黄銅)の高温硬さを次の如き方法でショアーに準じて測定した。



第1図 高温硬さ試験装置

- 1. 8mmφの鋼ボール
- 2. 落下のための案内
- 3. ガラス尺
- 4. 熱電対
- 5. 電気炉
- 6. 試験片
- 7. 試験片置台
- 8. 温度計
- 9. 電圧調整器

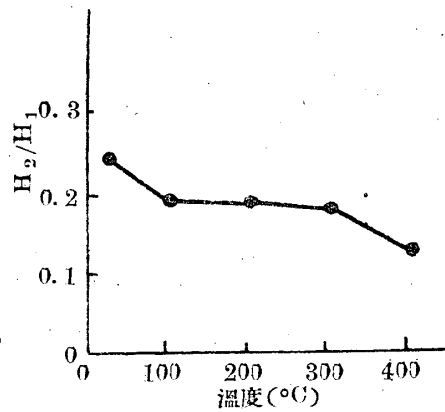
厳密、理想的には真空中で実験すべきだが今の場合空中で行つた。そのため酸化被膜ができて多少の誤差が入つたのはやむをえない。故に厳密な意味のショアー硬さではないが大体の傾向をみる目的には充分である。なお硬さとしては

$H \propto \frac{WH_2}{WH_1} = \frac{H_2}{H_1}$ であらわした。ここでWはボールの重さ、 H_1 は落下距離、 H_2 は、はね上る距離である。実験の結果は次の通りである。いづれも下記温度に10min 保つてから実験した。なお下記の実験値はいづれも5回行つた平均値である。

温度	H_1 (cm)	H_2 (cm)	H_2/H_1
27°C	62.6	15.3	0.244
100°C	62.6	12.4	0.198
200°C	62.6	12.2	0.195
300°C	62.6	11.4	0.182
400°C	62.6	8.1	0.129

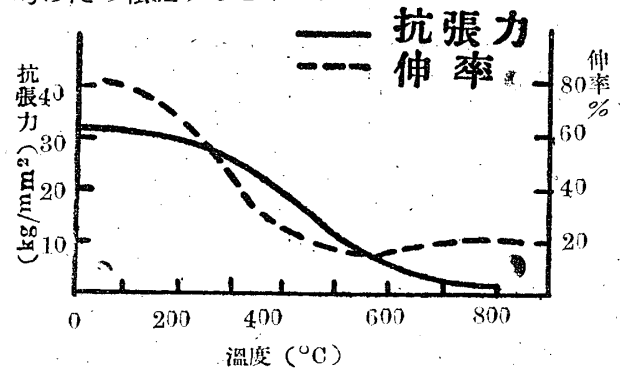
このグラフは第2図の如くなる。又この黄銅を常温においてロツクウェルBスケールではかると65になる。

抗張力については著者は実験しなかつたが参



第2図 黄銅の高温硬さ

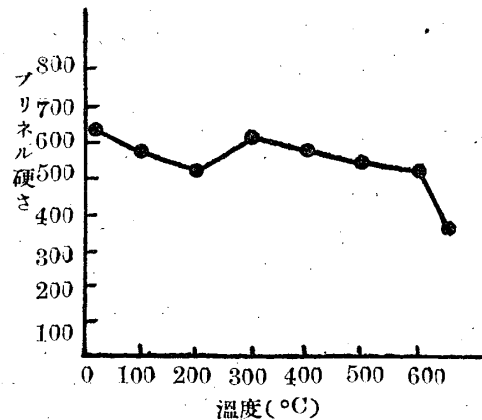
考のため転記すると第3図の如くなる。(5) とい



第3図 高温における黄銅の抗張力、伸率

れにしても黄銅は高温においては常温に比べて機械的性質の軟化するのは明らかである。

バイトの方も高温になると性質が軟化するので結局バイトの高温強さが被削材のその温度の高温強さより大である限り高温切削が可能ということになる。なお高速度鋼バイトの高温硬さに関する実験結果を参考までに第4図に示す。(6)



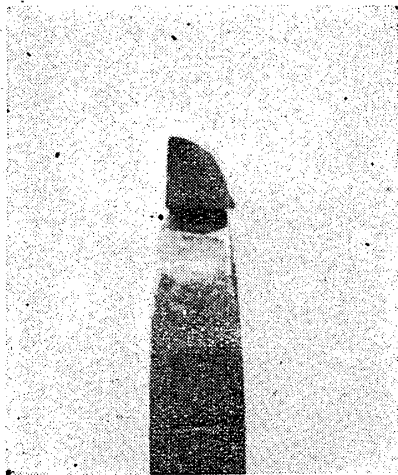
第4図 高速度鋼第2種の高温硬さ (奥島氏論文より)

3. 使用機械、工具および被削材

American Tool Works に準拠した国産8尺旋盤を用いた。この旋盤の細目は次の通りである。

センター高さ	241mm
センター間の最大距離	1372mm
ベツト上の振り	457mm
電動機馬力	7.5 HP

バイトは高速度鋼第2種を用い、その形状は第5図に示し角度は次の如くである。



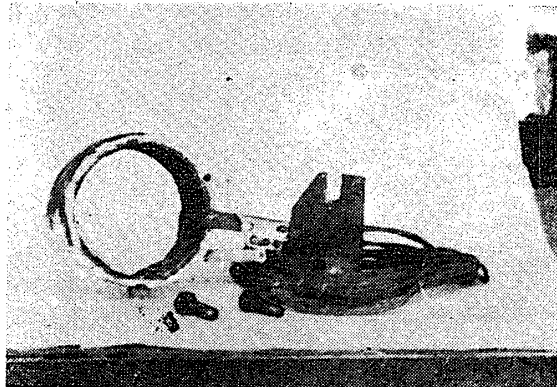
第5図 バイト

すくい角	10°	横すくい角	9°
双先角	70°	横双先角	68°
前逃げ角	40°	横逃げ角	13°
削り角	80°	横削り角	81°

被削材は市販の7-3黄銅でロツクウエルのBスケールで平均65を示した。

4. 実験方法

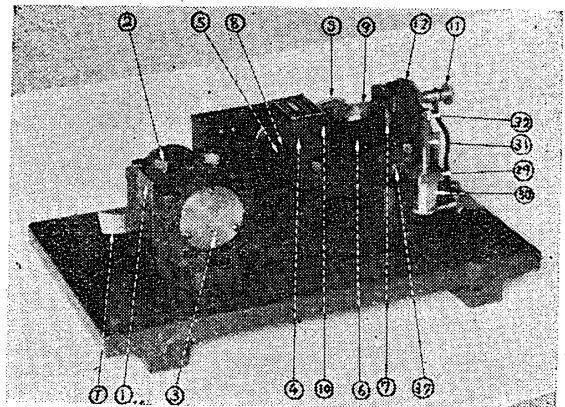
加熱方法としては酸素アセチレン焰のガスバーナー法、電気誘導法、電気抵抗法等があるが今の場合400°Cであり一番簡単にニクロム線を使つて加熱した。その装置は第6図の如くであ



第6図 加熱装置

る。これはまず鉄板を円筒状に材料の直径より僅かに大きくつくり、その上にアスベストパツキンをおき1KW用ニクロム線をのぼしてその上にまいた。

短絡を防ぐために豆がい管を中に入れてある。まきおわると端子を出してその上に又アスベストパツキンをおき、ニクロム線がほどけないようにするためと内側に熱を進行させるために再びその上に鉄板をまき、できたその円筒状の加熱器に図の如き柄をとりつけてこれを双物台にとりつける。温度を一定にするためにスライダツクを用い電圧調整を行う。温度測定は熱電対を用いたが切削前と切削後の材料の表面温度は大差はみうけられなかつた。加熱器の製作に当つての注意としては切削の際の切粉がこのスキマの中に入つて短絡するおそれがあるのでこの点製作に当つて考慮せねばならない。上記の加熱器で黄銅の表面温度を400°Cに保つてから切削する。切削抵抗はSEM式双物切味試験機(第7図)を用いた。



第7図 SEM式双物切味試験機

なお切削速度は15, 20, 30m/min 切込は0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 3mm, 送りは0.23, 0.26, 0.29, 0.35mm/回である。

以上の実験と全く同じ条件でいわゆる普通の加工を行いその時の切削抵抗を測定して上記の高温切削の場合と比較した。

5. 実験結果

各切削速度、切込、送りの場合の切削抵抗の値を高温加工と常温加工を比較して表にすると次の如くなる。

切削速度 m/min	送り mm/回	切込mm	切削抵抗 kg	
			高温切削	常温切削
15	0.23	3.00	208	121
"	"	2.00	123	98
"	"	1.75	93	80
"	"	1.50	74	68
"	"	1.25	59	59
"	"	1.00	44	41
"	"	0.75	33	30
"	"	0.50	12	32
"	"	0.25	—	11
"	0.26	3.00	228	146
"	"	2.00	154	114
"	"	1.75	130	103
"	"	1.50	81	126
"	"	1.25	61	112
"	"	1.00	47	80
"	"	0.75	25	68
"	"	0.50	12	30
"	"	0.25	—	—
"	0.29	3.00	245	182
"	"	2.00	196	160
"	"	1.75	147	137
"	"	1.50	118	121
"	"	1.25	106	114
"	"	1.00	81	80
"	"	0.75	49	59
"	"	0.50	25	34
"	"	0.25	—	—
"	0.35	3.00	282	263
"	"	2.00	203	178
"	"	1.75	191	171
"	"	1.50	172	126
"	"	1.25	123	109
"	"	1.00	98	103
"	"	0.75	74	64
"	"	0.50	37	46
"	"	0.25	25	30
20	0.23	3.00	196	194
"	"	2.00	147	126
"	"	1.75	44	91
"	"	1.50	25	75
"	"	1.25	15	68
"	"	1.00	—	57
"	"	0.75	—	43
"	"	0.50	—	32
"	"	0.25	—	—
"	0.26	3.00	184	182
"	"	2.00	144	126

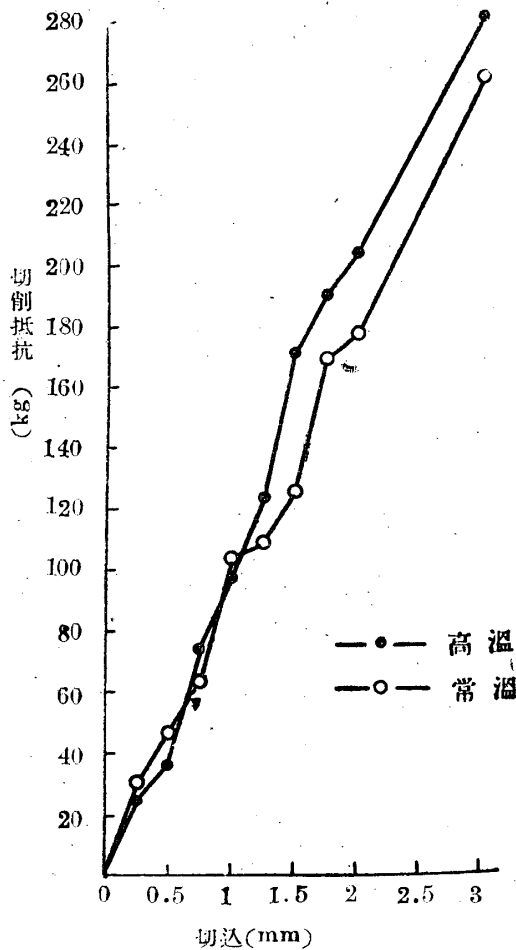
切削速度 m/min	送り mm/回	切込mm	切削抵抗 kg	
			高温切削	常温切削
20	"	1.75	123	114
"	"	1.50	93	103
"	"	1.25	76	82
"	"	1.00	37	64
"	"	0.75	20	41
"	"	0.50	12	30
"	"	0.25	—	—
"	0.29	3.00	245	257
"	"	2.00	172	160
"	"	1.75	118	114
"	"	1.50	106	91
"	"	1.25	74	80
"	"	1.00	47	57
"	"	0.75	37	46
"	"	0.50	20	23
"	"	0.25	—	11
"	0.35	3.00	257	273
"	"	2.00	196	182
"	"	1.75	176	160
"	"	1.50	134	137
"	"	1.25	96	103
"	"	1.00	61	80
"	"	0.75	37	68
"	"	0.50	20	46
"	"	0.25	—	13
"	0.23	3.00	166	192
"	"	2.00	76	137
"	"	1.75	66	114
"	"	1.50	51	91
"	"	1.25	39	80
"	"	1.00	27	57
"	"	0.75	20	46
"	"	0.50	6	23
"	"	0.25	—	—
"	0.26	3.00	198	228
"	"	2.00	110	148
"	"	1.75	86	132
"	"	1.50	61	103
"	"	1.25	49	91
"	"	1.00	34	68
"	"	0.75	32	53
"	"	0.50	12	25
"	"	0.25	—	5
"	0.29	3.00	245	214
"	"	2.00	125	144
"	"	1.75	100	121
"	"	1.50	83	114

切削速度 m/min	送り mm/回	切込 mm	切削抵抗 kg	
			高温切削	常温切削
30	"	1.25	56	91
"	"	1.00	39	91
"	"	0.75	36	53
"	"	0.50	15	34
"	"	0.25	—	—
"	0.35	3.00	228	273
"	"	2.00	145	189
"	"	1.75	108	167
"	"	1.50	88	137
"	"	1.25	61	114
"	"	1.00	49	103
"	"	0.75	37	80
"	"	0.50	17	46
"	"	0.25	—	23

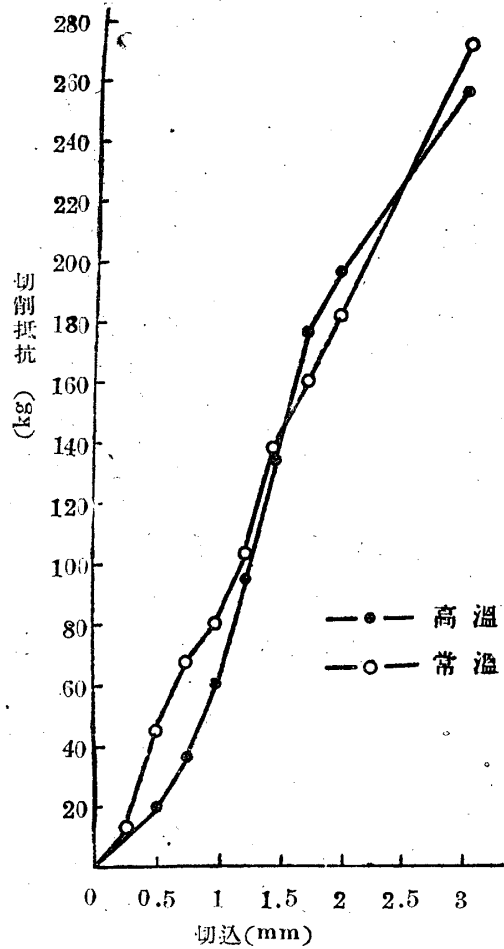
6. 実験結果に対する考察

(1) 切込の影響

切込の影響をグラフで示すと第 8.9.10 図の如



第 8 図 切削抵抗—切込曲線の一例
(V=15m/min、S=0.35mm/回)

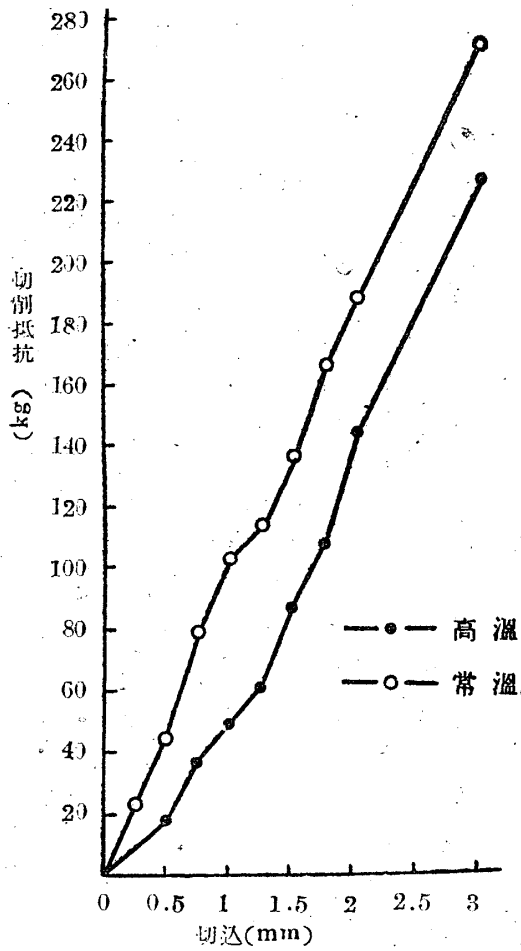


第 9 図 切削抵抗—切込曲線の一例
(V=20m/min、S=0.35mm/回)

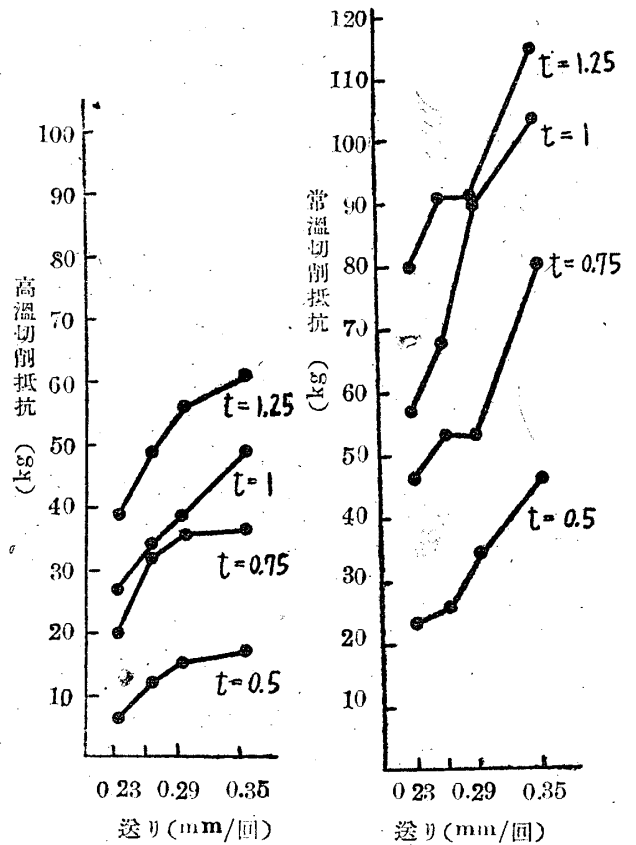
くなる。高温加工、常温加工いずれの場合も大体切込に比例して切削抵抗はましている。高温加工と常温加工を比較して興味のあることは V=15m/min の時は切込大体 1.5mm 以下では高温切削抵抗の方が小さく、それをこすと逆になり、V=20m/min の時はやはり切込大体 1.5mm 以下では高温切削の抵抗少くそれをこすと両方の抵抗はほぼ等しくなり、V=30m/min の時は切込のいずれをとわず高温切削抵抗の方が少いことである。切削速度をますほど高温加工の効果が出るのは能率の点からいつでも都合がよるしい。

(2) 送りの影響

送りは 0.23, 0.26, 0.29, 0.35mm/回の 4 通りを用いた。送りの影響は第 11 図に示す。高温加工、常温加工の場合も大体送りに比例して切削抵抗がましている。



第10図 切削抵抗-切込曲線の一例
(V=30m/min、S=0.35mm/回)



第11図 切削抵抗-送り曲線の一例
(V=30mm/min、t=切込mm)

(3) 切削速度の影響

切削速度は15m/min, 20m/min, 30m/min, の3通りを用いた。切削速度の影響を第12,13図に示す。高温加工の場合はいずれも切削速度をますにつれて切削抵抗がへつているが常温加工の場合は色々な場合があつて一様にいえない。

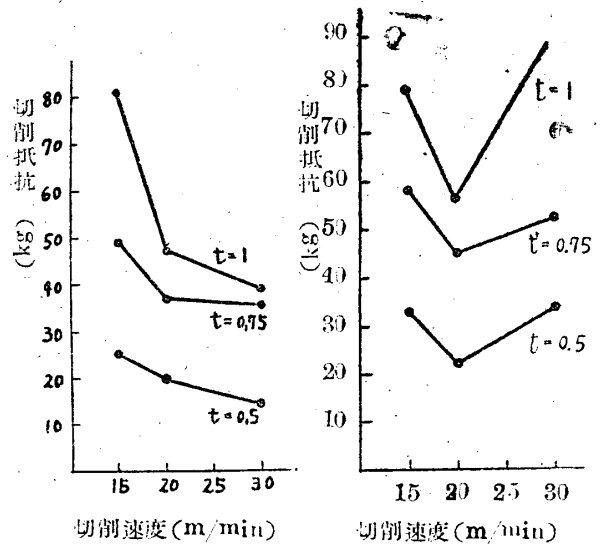
(4) 高温加工と常温加工の比較

高温加工の効果のあがつたV=30m/minの場合について高温加工と常温加工の所要馬力を比較してみる。

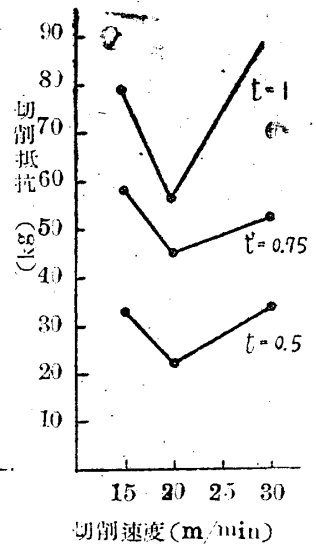
$$\text{所要馬力} = \frac{P \times V}{75 \times 60} \quad P: \text{切削抵抗 kg} \quad V: \text{切削速度 m/min}$$

$$\frac{\text{高温加工の馬力}}{\text{常温加工の馬力}} = \frac{P(\text{高})}{P(\text{常})} = a \quad \beta = \frac{1}{a}$$

上記の実験値から a, β を求めると次の如くなる。



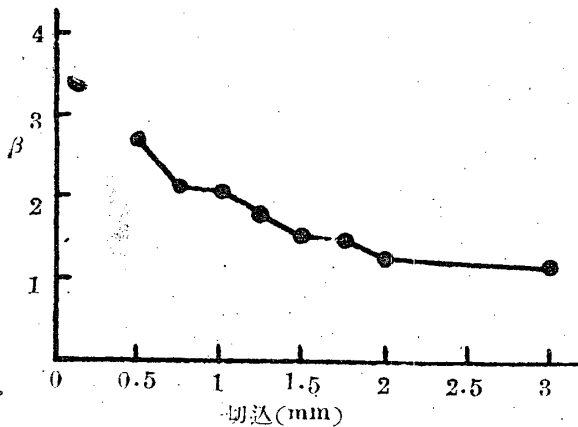
第12図 高温切削抵抗-切削速度曲線の一例
(S=0.29mm/回、t=切込mm)



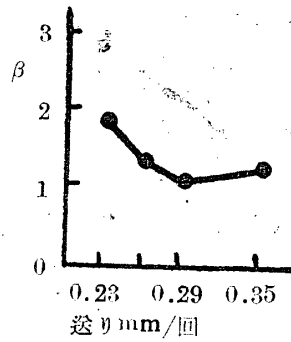
第13図 常温切削抵抗-切削速度曲線の一例
(S=0.29mm/回、t=切込mm)

送り	切込	a	β
0.23	3.00	0.864	1.16
"	2.00	0.553	1.81
"	1.75	0.579	1.73
"	1.50	0.531	1.79
"	1.25	0.487	2.05
"	1.00	0.474	2.11
"	0.75	0.485	2.30
"	0.50	0.261	3.83
0.26	3.00	0.870	1.15
"	2.00	0.742	1.35
"	1.75	0.651	1.54
"	1.50	0.592	1.69
"	1.25	0.589	1.86
"	1.00	0.500	2.00
"	0.75	0.603	1.66
"	0.50	0.481	2.08
0.29	3.00	1.150	0.87
"	2.00	0.868	1.15
"	1.75	0.825	1.21
"	1.50	0.729	1.38
"	1.25	0.615	1.63
"	1.00	0.423	2.34
"	0.75	0.679	1.48
"	0.50	0.442	2.27
0.35	3.00	0.835	1.20
"	2.00	0.768	1.30
"	1.75	0.646	1.55
"	1.50	0.642	1.56
"	1.25	0.535	1.87
"	1.00	0.476	2.10
"	0.75	0.463	2.15
"	0.50	0.370	2.70

第14、15図に示すように、 β -切込、 β -送りの関係をグラフで示すと第14、15図になる。切込の少ないほど、送りの



第14図 β -切込曲線の一例
($V=30\text{m/min}$, $S=0.35\text{mm/回}$)



第15図 β -送り曲線の一例
($V=30\text{m/min}$, $t=2\text{mm}$)

少ないほど β が大きくなる。いづれにしても β は1より大で少ない時は2,3割から多い方では3倍ぐらい能率がよいことは明らかである。

7. 総括

以上の実験をまとめると次の如くなる。

(1) 高速度鋼バイトを用いて黄銅の高温切削を行いその時の切削抵抗を測定し同時に全く同じ条件でふつうの常温加工を行いその抵抗を測定し高温切削の場合と比較した。

(2) 高温加工、常温加工いづれの場合も切削抵抗は切込に大体比例する。

(3) 高温加工、常温加工いづれの場合も切削抵抗は送りに大体比例する。

(4) 高温加工の場合は切削速度の増加にしたがい切削抵抗は減少する。常温加工の場合は色々な場合があり、規則性がない。

(5) 高温加工と常温加工を比較すると大体 $V=15\text{m/min}$ の時は高温加工の場合の方がかへつて切削抵抗大きく、 $V=20\text{m/min}$ で大体両者ひとしくなり、 $V=30\text{m/min}$ で高温加工の切削抵抗小さくなる。しかし $V=15, 20\text{m/min}$ の時でも切込 1.5mm 以下では高温加工の抵抗の方が小さいことがわかった。

(6) 高温加工の効果率 β をしらべると、 V の大きいほど切込の小さいほど、送りの小さいほど β が大となり、その効果の最大の場合には4倍近くにもなった。

(7) 高温加工は要するに被削材料の高温強さとバイトの高温強さの相対的な問題になるのでバイトとしては超硬質合金等を使うのがよいにこしたことはないが高速度鋼でも相手が黄銅、アルミニウムのやうに軟化しやすい材料の場合は相当に好能率をあげることがわかった。

終りに当り御指導をたまわつた田中工学部長、

本実験を手傳われた学生諸君ならびに機械工場
の諸氏にあつく感謝の意を表する。

(1)例え

“Tooling for Hot-Machining of Hard-
to-Cut Metals” James, Machinery 1950
“Are We Slowpokes at Machining?”
Tangerman, Am. Machinist 1950

(2)例え

「超高速切削について」伊藤鎮
1950, 10, 26 機械学会講演会
1951, 4, 3 機械学会講演会

(3)例え 西日本重工広島造船所造機部などの現場
で実施されつつある

(4)「高速切削と高温切削」佐藤健児
精密機械誌 17巻2号 (1951)

(5)「金属材料」三島徳七

(6)機械学会論文集16巻53号 (1950) P66.

水平管における砂輸送公式の一表示法と 比較的小さい管に適用できる砂輸送公式

山 根 信 太 郎

1. まえがき

砂と水との混合水を水平管路に流して砂を沈
澱せしめることなく輸送する場合、砂の運動に
三種の形態がある。その一つは浮遊であつて水
の乱れの分速度が管軸方向に対して垂直なる方
向にも存在するため、はげしい輸送速度の吹き
とばしによる砂の飛散運動と共に、砂が重力の
影響を殆んど失う場合である。これは水の速度
が早く砂の粒子が小さいときあらわれる。その
二つは跳躍でこれは砂粒子のもつ質量が大き
いため、水平輸送速度が砂を飛散回転させるエ
ネルギーや水の渦のもつ管軸に垂直なる方向の分
速のエネルギーだけでは、十分に重力の影響が
失われない場合で、砂は水平輸送速度で吹き飛
ばされつつ管底を基線とする一種の跳躍運動を
する。それから第三のタイプは転動でこれは砂
の質量が跳躍の場合よりもさらに大きく、その
ため重力の影響が圧倒的に大きくなり、砂はほ
とんど管底をはなれることなく転る場合であ
る。かくの如く砂が水中を輸送される型式とし
ては三つある訳であるが、砂を十分な安全性を
もつて輸送できる型式は浮遊である。しかしな
がら砂粒子の大きさによつては完全に砂を浮遊
状態におくにはきわめて大なる輸送速度を要し
費用の点から止むを得ず跳躍、もしくは転動を
選ぶ場合もある。がいずれにせよ、流体輸送の

設計に際して砂粒子の直径が興えられたとき、
これをほぼ浮遊ならしめる輸送速度が推定でき
ることは重要な事である。しかるに現在ではこ
れらの輸送速度、輸送管径及び粒子直径の三
つの量の間を関係づける試みは行われていな
いようである。よつて筆者はここに浮遊の条件と
次元解析とを用いて、主として浮遊の場合に適
用できる、粒子直径、水平輸送速度、及び輸送
管径に関する一般関係式を導き、これを文献に
よつて確しかめ、レイノルズ数の或範囲ではあ
るが砂に適用できる浮遊輸送公式を作つてみた
ものである。

2. 浮遊の条件

砂の浮遊がいかなる理由によつて生ずるかは
簡単には決められない問題である。しかしその
主な理由が水の乱れ、すなわち渦による水の速
度の変動に原因することは首肯できる所であ
らう。すなわちこれは水の渦塊のもつ回転運動
のエネルギーの一部が砂粒子の沈降する速度を
阻止する結果、砂を浮遊状態におくからである
。よつてここでは浮遊は水の乱れによつてのみ
起こるものとし、その外の原因は一応除外して
考えるものとする。しかして簡単なため管を二
次元と考え、管軸に水の進行方向をとつて x 軸
としこれに垂直なる方向を y 軸とする。又 x 軸
方向における水の乱れの変動分を u , y 軸方向の