

局部電気抵抗加熱法における加熱温度特性

谷口正紀* 瀬戸雅文*

Characteristics of Heating Temperature in Local Electric Resistance Heating Method

Masaki TANIGUCHI and Masafumi SETO

Abstract

In general, a suitable heating temperature exists in hot machining.

In this research, therefore, the characteristics of heating temperature in Local Electric Resistance Heating Method under various conditions were investigated.

The results of these experiments are as follows:

- (1) Considerably high temperature is obtained by this heating method.
- (2) The temperature of electrode rises in proportion to electric current.
- (3) When the surface speed of work is low, the temperature of electrode tends to go down as a result of the increase of surface speed, but when the speed is high, the temperature tends to rise.
- (4) The temperature of electrode is little affected by feed.

1. 緒言

金属材料の切削において被削材をなんらかの方法により加熱すれば削りやすい状態となり被削性も一段と改善される。加熱切削時における切削温度は一般に削り速度、切込み、送り等の切削条件に左右されると同時に電極の位置や接触状態などの加熱条件によっても変化する。したがって各種材料にはそれぞれ適当な加熱温度が存在すると考えられる。

本研究では種々条件を変えた場合の加熱温度特性を検討し、加熱切削における適性加熱温度を把握するための基礎実験を行なった。

2. 実験方法および装置

局部電気抵抗加熱法における発熱は主として通電時のジュール熱であるが、微小ながら電極と被削材との間に生じる摩擦熱がこれに加わる。いっぽう、チャックや被削材の回転によって強制的に空冷される。このように加熱冷却が同時に作用していることを考慮して被削材の回転を停止して局部電気抵抗加熱（以下通電加熱と略称する）を行なった場合、被削材の回転のみで通電を行なわない場合および回転中に通電加熱を行なった場合の温度を測定した。なお、切削中には切削

熱も加わるが、本実験では切削を行なわない場合の加熱温度について検討を行なった。

実験方法としてはまずタングステン電極の先端から2 mmの位置に超音波加工機で小孔を明け、これにクロメル・アルメル熱電対を装置して電極温度を測定し、この電極温度をもって加熱温度とした。

Table 1. Chemical analysis of work.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
S45C	0.44	0.37	0.61	0.019	0.011	0.12	0.013

加熱装置および旋盤は別報¹⁾に述べたので省略する。測定器には千野製作所製高温計および理化電機工業製微小電位差計（ペンレコーダー）を用いた。被削材（被加熱体）にはTable 1に示す成分のS45C材を用いた。なお、被加熱体表面は切込み0.3 mm、送り0.12 mm/rev、削り速度125m/minで仕上げ、仕上面性状の一定をはかった。その仕上面あらさは約11 μである。

3. 実験結果および考察

3.1. 停止中の電極温度

* 工業短期大学部機械工学教室

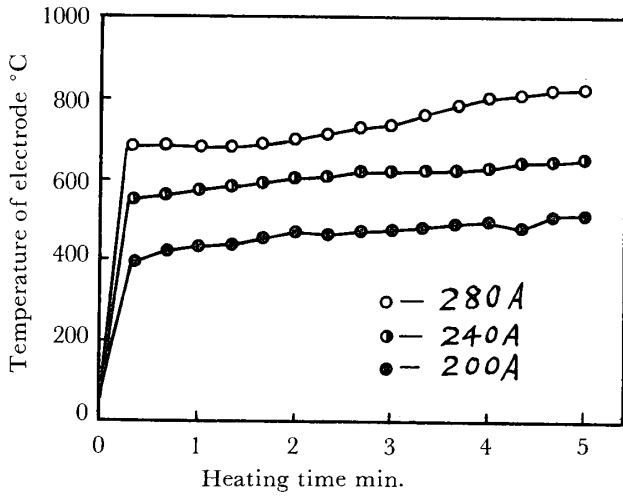


Fig. 1. Relation between heating time and temperature of electrode when stopping the work.

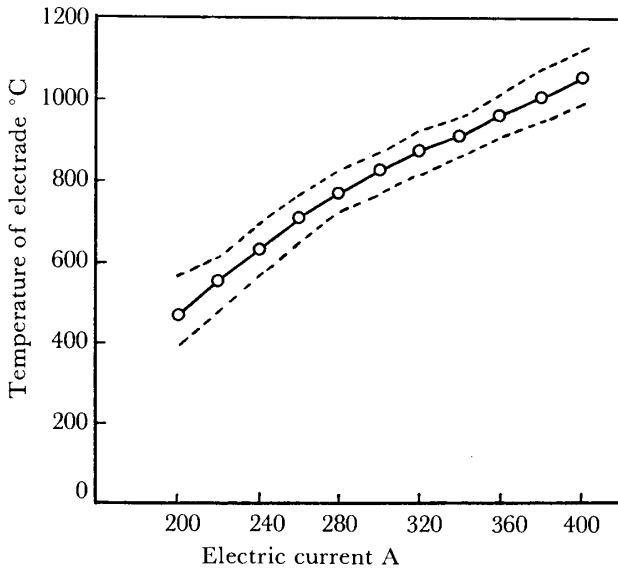


Fig. 2. Relation between electric current and temperature of electrode when revolving the work.

停止中の被削材に電極を固定接触させて通電加熱を行なった場合の測定結果を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。

Fig. 1 は加熱電流を一定にした場合の加熱時間と温度との関係を示したもので通電直後に急激な上昇を示している。すなわち、加熱時間約30秒で最終温度の70~80%となり以後は徐々に上昇している。なお、温度が安定して定常状態に達するまでにはかなりの時間を要するが長時間加熱することは、被削材全体を加熱することとなり局部加熱の長所がそこなわれる。

したがって停止中の場合は通電後30秒の温度を加熱温度として電流と加熱温度との関係を求めた。 Fig. 2

はその結果を示したもので、電極温度は電流にほぼ比例して上昇している。なお、破線は(平均値)±(標準偏差)を示したもので±50°~60°Cのパラツキを生じたが、これは主として電極の接触状態の良否によるものである。

3.2. 摩擦温度

摩擦温度の測定結果を Fig. 3, Fig. 4 および Fig. 5 に示す。 Fig. 3 は摩擦時間と温度との関係を示したもので、 Fig. 1 の場合と同様回転後20秒で急激な上昇を示しその後の摩擦温度はほとんど安定している。したがってこれも30秒後の温度で周速との関係を求めた。

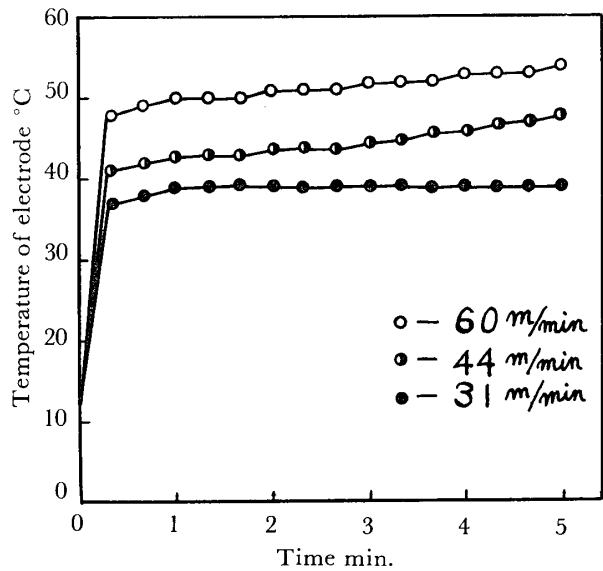


Fig. 3. Relation between rubbing time and frictional temperature of electrode when revolving the work.

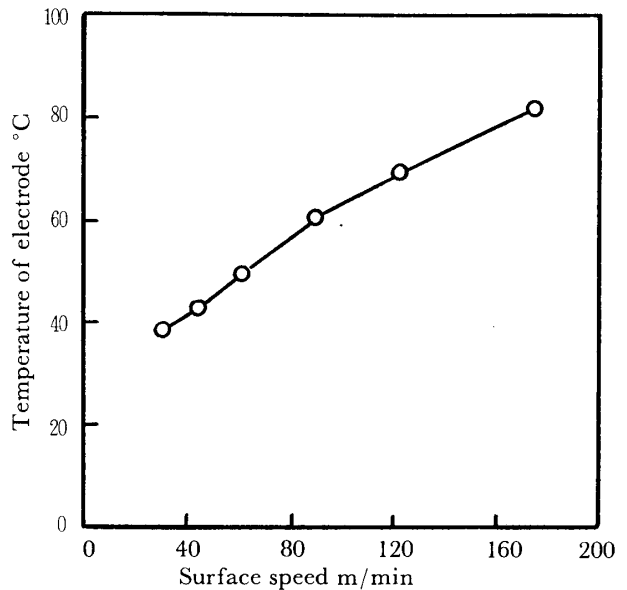


Fig. 4. Relation between surface speed and frictional temperature of electrode.

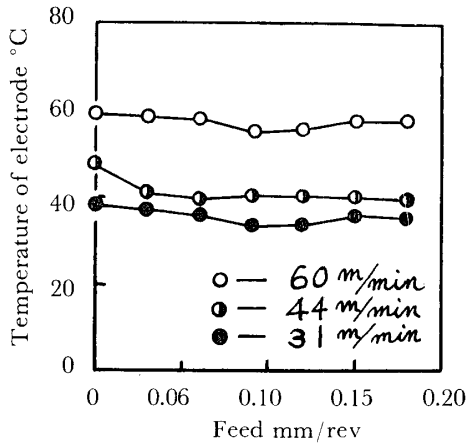


Fig. 5. Effect of feed on frictional temperature of electrode.

Fig. 4はその結果を示したもので、摩擦温度はほぼ周速に比例して上昇している。しかし、その温度は周速180 m/min のとき80°C 程度で、大型シュールを用いるいわゆる摩擦加熱法²⁾にみられるような加熱効果を期待することはできない。Fig. 5は送りと摩擦温度との関係を示したもので送りが大きくなるにしたがって摩

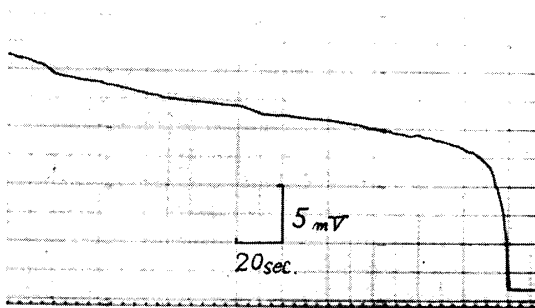


Fig. 6. Heating curve.
Surface speed: 31 m/min
Electric current: 240A

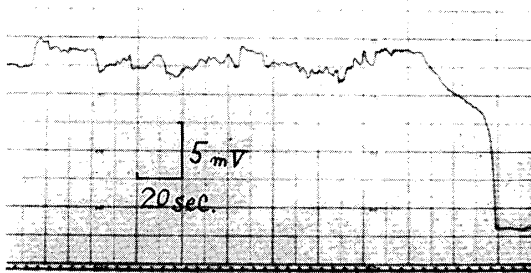


Fig. 7. Heating curve.
Surface speed: 123 m/min
Electric current: 240A

擦温度は多少降下するが大きな影響はない。

3.3. 回転中の電極温度

回転中の通電加熱温度は自動記録計で横軸に時間、縦軸に mV として記録した。その一例を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。

3.3.1. 加熱時間と電極温度

Fig. 6 は周速31m/min, 電流240 A の場合、Fig. 7 は123m/min, 240A の場合の記録結果でこれらを温度に換算して加熱時間と温度との関係を求めたのが Fig. 8 および Fig. 9 である。

回転中の加熱温度も停止中の場合と同様通電直後に急激な上昇を示すが周速がおそい場合には Fig. 1 にくらべてやゝ緩慢である。すなわち、Fig. 6~Fig. 9 および Fig. 12 からわかるように高速域では通電後20秒でほとんど平衡状態に達し周速が早いほど平衡状態

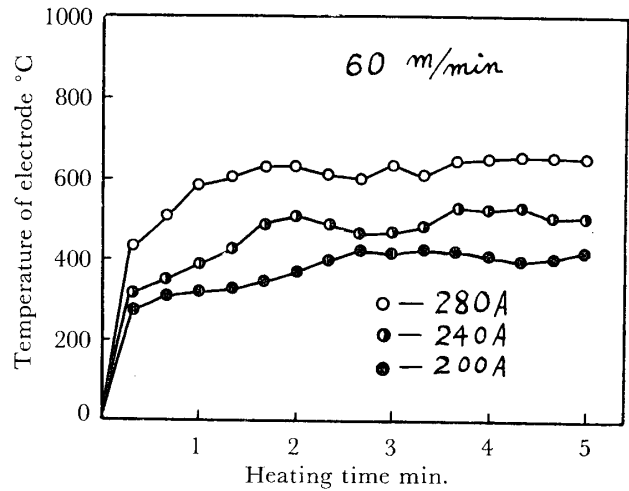


Fig. 8. Relation between heating time and temperature of electrode when revolving the work at 60 m/min.

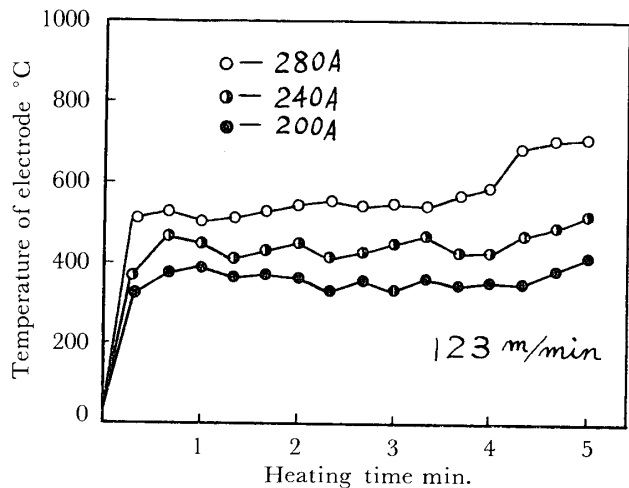


Fig. 9. Relation between heating time and temperature of electrode when revolving the work at 123 m/min.

に達するのが早い。しかし、Fig. 6 に示すように低速では温度上昇がなめらかであるのに対して Fig. 7 のように高速の場合には20~30秒で平均温度はほとんど平衡状態に達していながら以後かなりの波状変動を示している。

これらの加熱曲線にみられる温度上昇は定電流加熱における平衡状態への過度現象であるが、それと同時に発熱体の温度上昇による電気抵抗の増加および摩擦面の悪化に伴う接触抵抗の増加などによってさらに温度は上昇する。たとえば、Fig. 8 における200 A の場合の約20秒から2分40秒までの温度上昇は主として摩擦面の悪化に伴う温度上昇と考えられ、Fig. 9 ではこの摩擦面の悪化が急激なため早く平衡状態に達するものと思われる。

Fig. 9 において温度平衡後さらに加熱を続けると摩擦面はますます悪化して、ついには火花を発生し再び温度上昇を示す。図中4分以後の温度上昇がそれで、この温度はさらに不安定なものとなる。

3.3.2, 冷却曲線

冷却曲線の一例を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。Fig. 10 は31m/min, 200 A, Fig. 11 は 31m/min の場合で、それぞれ6分加熱後に冷却を行なったものである。

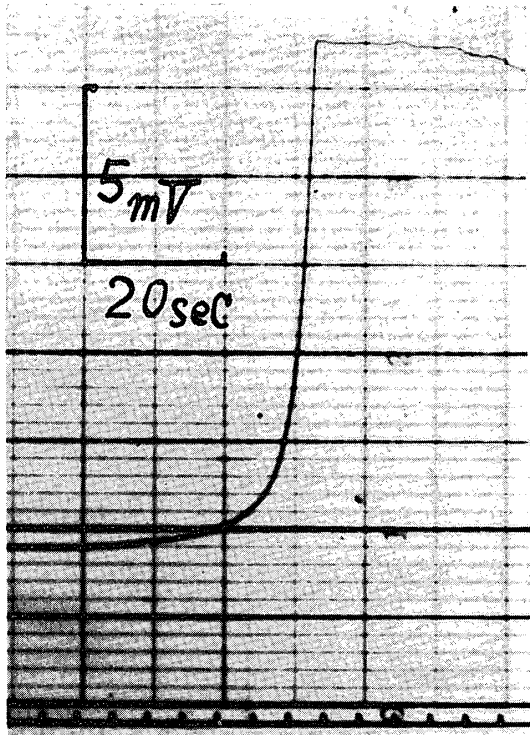


Fig. 10. Cooling curve.
Surface speed : 31 m/min
Electric current : 200A

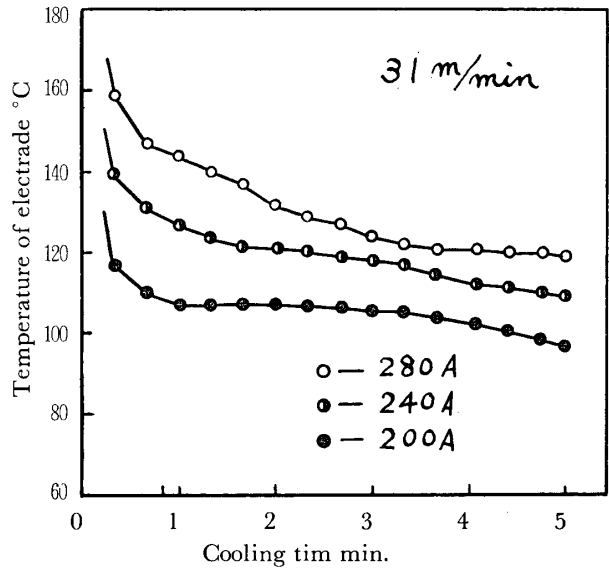


Fig. 11. Cooling curves while revolving the work.

電流切断直後に急冷され以後は徐冷されている。これは局部加熱が効果的に行なわれることを示すもので切削部前後の被削材温度をある程度に止めることができる。

Fig. 11 の最終温度が Fig. 4 および Fig. 5 に比して高いのは通電加熱による摩擦面の悪化を意味するが、本切削法においては加熱部が切削部の直前にあるため仕上面に対する直接の影響はない。

3.3.3, 周速の影響

周速と電極温度との関係を Fig. 12 に示す。通電後30秒の加熱温度を実線で示し、前述の火花現象を考慮してその直前すなわち4分後を平衡状態に達したものとしてその温度を破線で示した。

電極温度は周速の増加とともにいったん低下するが、ある周速以上になると再び上昇する。すなわち、30秒後の温度は30~40m/min 付近に、4分後の温度は100 m/min 付近に最小値を有し、以後はわずかな上昇を示している。なお、高速になるほど平衡状態に達しやすいのは前述の通りである。

3.3.4, 電流と電極温度

周速を一定とし、通電後30秒の温度を測定して加熱電流と電極温度との関係を求めた。Fig. 13 はその結果を示したものでいずれの周速においても停止中の場合と同様ほぼ電流に比例して上昇する。Fig. 12 にも示すごとく高速になるほど停止中の温度に接近するのは被削材回転による熱伝達率の増加に限界があり、摩擦熱および接触抵抗の増加に伴う発熱量の増加率がより大きくなるからだと推察される。

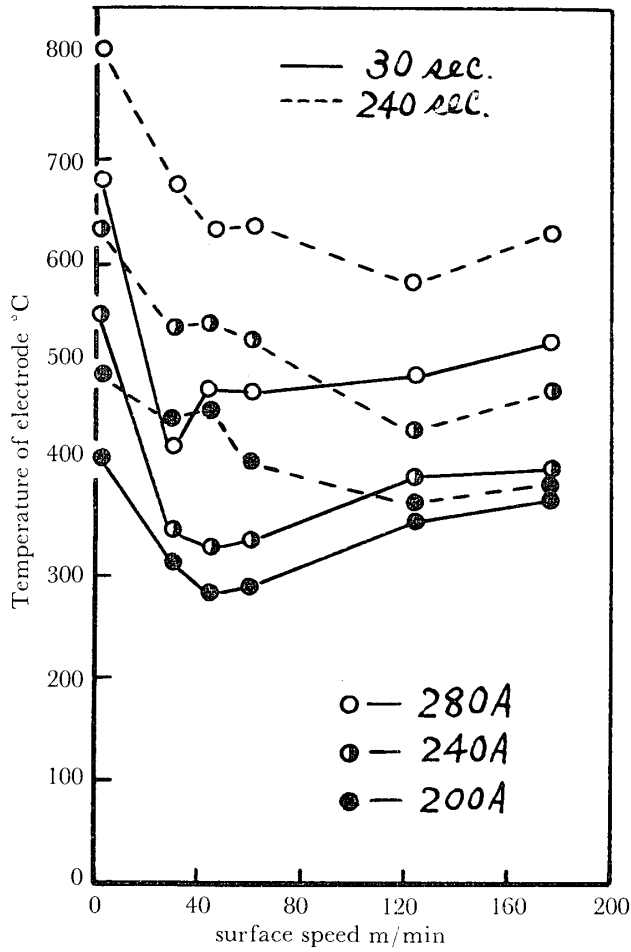


Fig. 12. Relation between surface speed and temperature of electrode.

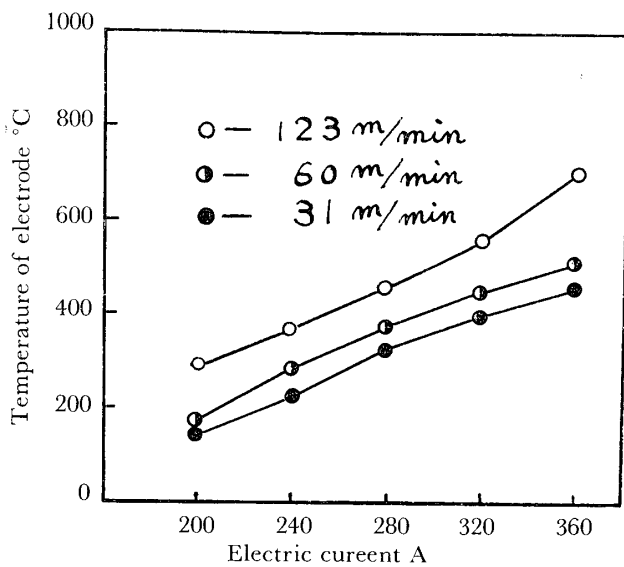


Fig. 13. Relation between electric current and temperature of electrode when revolving the work.

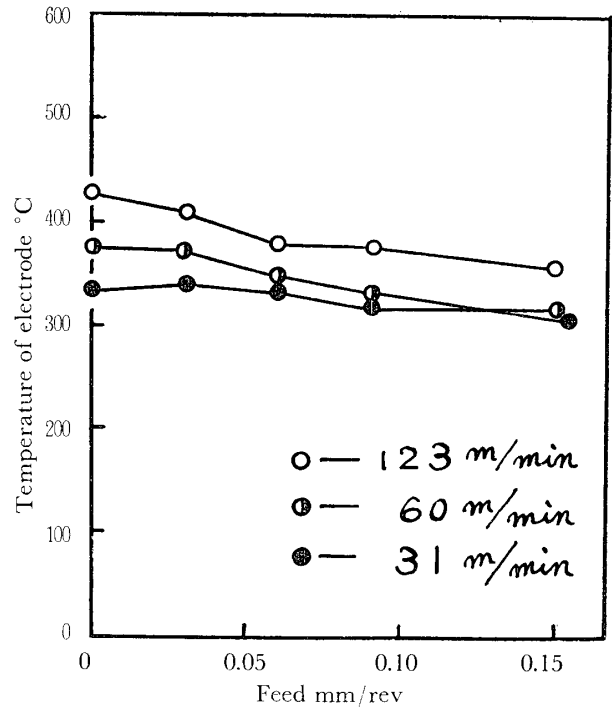


Fig. 14. Effect of feed on temperature of electrode when heating the work.

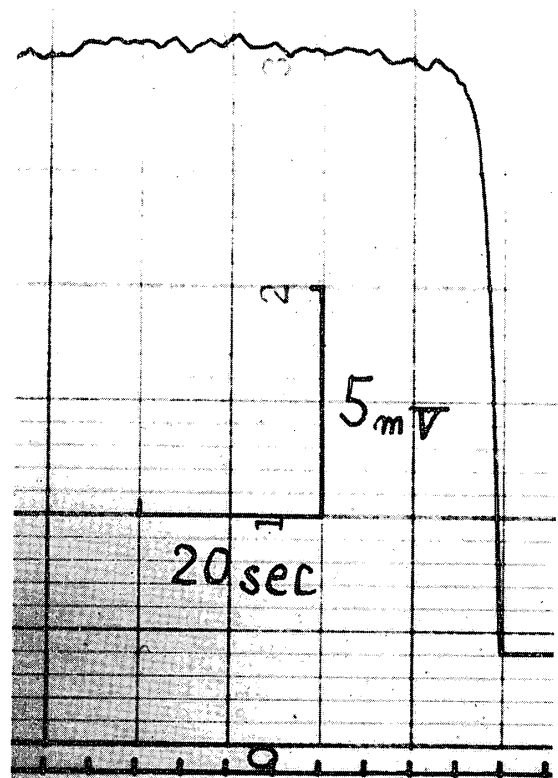


Fig. 15. Heating curve.
Surface speed : 60 m/min
Feed : 0.06 mm/rev
Electric current : 280A

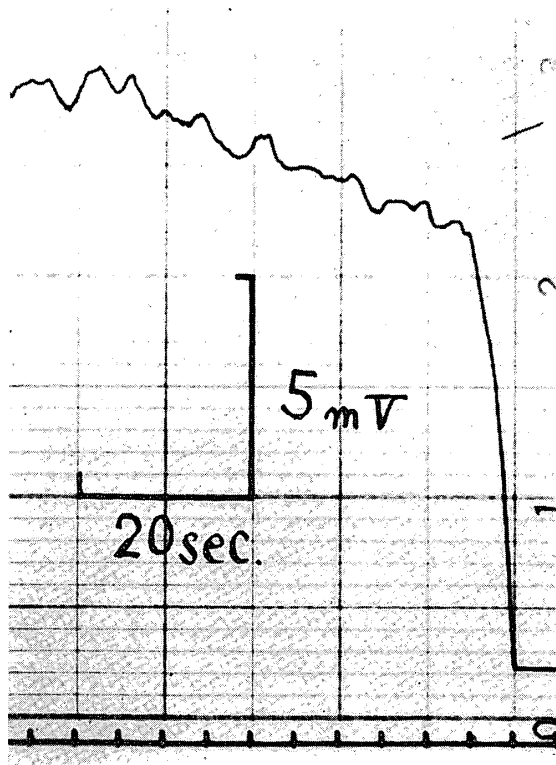


Fig. 16. Heating curve.
 Surface speed : 31 m/min
 Feed : 0.09 mm/rev
 Electric current : 280A

3.3.5. 送りの影響

本加熱切削法（三次元切削）においては予熱を行なう場合を除いてすべて送りの影響を受ける。Fig. 14は周速31m/min, 60m/minおよび123m/min, 加熱電流280 A として通電後30秒の温度を測定して送りとの関係を得たもので、電極温度は送りが大きくなるにした

がってわずかに降下している。なお、高速でしかも送りが大きくなると電極の接触が不安定な場合もあり操作上注意を要する。

Fig. 15および Fig. 16は送りをかけた場合の加熱曲線の一例を示したもので、Fig. 15は周速60m/min, 送り0.06mm/rev, 電流280A, Fig. 16は31m/min, 0.09 mm/rev, 280 A の場合である。周速60~123m/min では10~20秒で平衡状態に達して安定し、31 m/min では Fig. 6 と同じように10~20秒以後もゆるやかな上昇を示している。

4. 結 言

以上種々条件を変えた場合の加熱温度特性について検討を行ない次のような結論を得た。すなわち

- (1) Fig. 2 および Fig. 13 に示すように、本加熱法によって短時間にしかもかなりの高温を得ることができる。
- (2) 電流との関係：一電極温度は電流にほぼ比例して上昇する。
- (3) 周速の影響：一低速域では周速に比例して下る傾向にあるが、高速になると周速に比例して上昇する。
- (4) 送りの影響：一送りに比例してわずかに下るが、大きな影響はない。

終わりに、本研究に際し御指導御援助を賜った宇部工業短期大学嶺助教授に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 谷口, 瀬戸：山口大学工学部研究報告 15 161 (1965)
- 2) 一宮亮一：日本機械学会論文集 29 1883 (1963)
 (昭和40年6月9日受理)