



## 被加工材組織の電解加工特性への影響

|       |   |
|-------|---|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者: 室蘭工業大学<br>公開日: 2014-07-14<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 田中, 雄一, 菊地, 千之<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/10258/3535">http://hdl.handle.net/10258/3535</a>                                   |

# 被加工材組織の電解加工特性への影響\*

田中雄一・菊地千之

## Effects of Work-Metal Microstructures on the Machining Characteristics in Electrochemical Machining

Yuichi Tanaka and Kazuyuki Kikuchi

### Abstract

There is little information on the effects that different work-metal microstructures would have on electrochemical machining. In this report the machining characteristics of some carbon steels for sodium chloride and sodium chlorate solution, which is less corrosive for mild steel than sodium chloride solution, were experimentally investigated. The work-metals were pure iron, 0.47% carbon steel and eutectoid steel after different annealing treatments. The main results are as follows:

(1) With increasing the volumetric percentage of the lamellar pearlite of work-metal, the metal removal rate is decreased, while that with globular pearlite is machined very faster than the other. Especially the machining rate for sodium chloride solution is faster than theoretical metal removal rate caused by dislodging of cementite particle.

(2) When machining the lamellar pearlitic steel, metal removal almost completely stops at low current density because of indissolubility of cementite on the work-metal surface.

### I. 緒 言

電解加工法は難切削材の加工、複雑な形状の金型などの形彫り加工を能率よく行ないうる比較的新しい加工法である<sup>1),2)</sup>。あらかじめ成形した母型電極を陰極とし、被加工材を陽極として両極間に高速で電解液を流過させながら直流電流を通じて被加工材を電気分解によって除去するものである。

このように本加工法は、電気分解反応を利用したものであるから、その加工特性は被加工材の化学的性質に大きく依存すると考えられる。しかしながら被加工材の熱処理によるマイクロ組織の変化によって加工速度が著しい影響をうけるとの報告<sup>3),4)</sup>が若干なされている。これらの相関関係については不明の点が多い。

一方、電解加工液として塩化ナトリウム水溶液が一般に広く使用され、プレスフォーミングダイの形彫りなどが行なわれているが<sup>5)</sup>、加工精度あるいは腐食性の点で問題を生じている

\* 昭和45年度精機学会秋季大会(昭和45年10月6日)にて発表

現状である。最近塩素酸ナトリウム水溶液が注目されているが、この腐食性は塩化ナトリウム水溶液の約 1/50 で、かつ形状精度が秀れているという特徴をもつものである<sup>6)</sup>。

したがって本研究では、これら問題点の基礎的資料を得るため塩化ナトリウムおよび塩素酸ナトリウム水溶液により、炭素含有量を変化させた数種の鋼についての加工性を検討し、さらにマイクロ組織を変化させ加工特性を検討した。

## II. 実験方法

### 2-1. 実験装置

図-1 に使用した電解加工装置の概略を示した。陰極 (工具) の送りはシリーズギヤモータおよび歯車機構により行ない、モータ回転数の調節によって送り量を変化させた。電解液は耐酸性ギヤポンプによって陰極内部から加工面に噴出させ、再び電解液貯蔵タンクへ戻し繰り返し使用した。また電解によって生成した夾雑物を除くため、ポンプの吸込み側および吐出側にガラス綿のフィルターを備えさらに貯蔵タンク内に隔壁を多数設けて夾雑物を沈殿させた。

### 2-2. 被加工材 (陽極)

被加工材は、表-1 に示した炭素含有量の異なる 3 種類の鋼を用いた。純鉄 (S-1) は、900°C で水素除去焼鈍後 7 mm の厚さまで冷間圧延し、再び 900°C で真空焼鈍を行なったものである。また機械構造用鋼 S-45C (S-2) および炭素工具鋼 SK-5 は共に市販材である。なお SK-5 試料は熱処理を行ない層状パーライト組織にした S-3(L) 試料およびセメントタイトの球状化処理を行なった S-3(G) 試料の 2 種類とした。これら加工材の顕微鏡組織を写真-1 にそれぞれ示した。

### 2-3. 電解液

実験に使用した電解液は、10% 塩化ナトリウム水溶液および 27% 塩素酸ナトリウム水溶液の 2 種類である。これら電解液の比伝導度は、ともに 20°C で  $0.3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  である。実験は

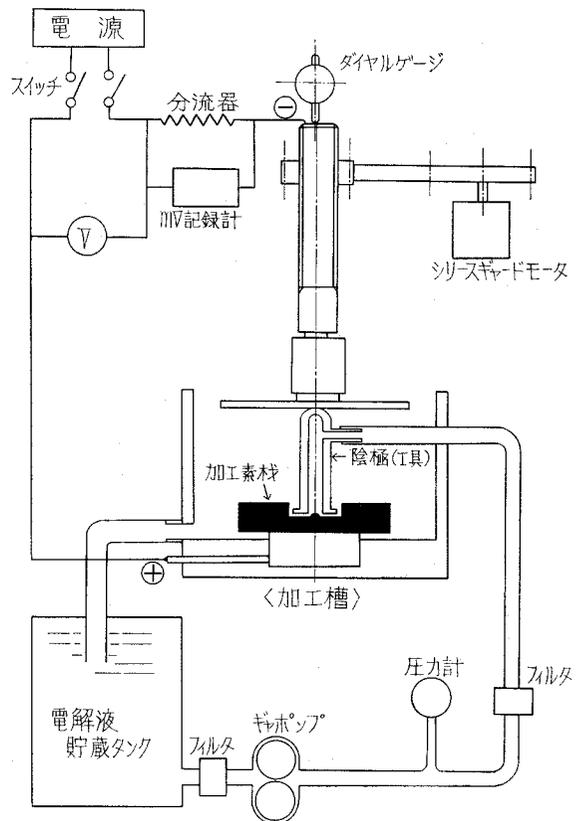
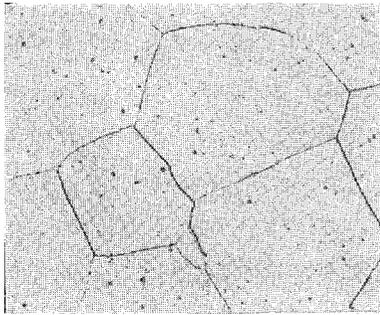


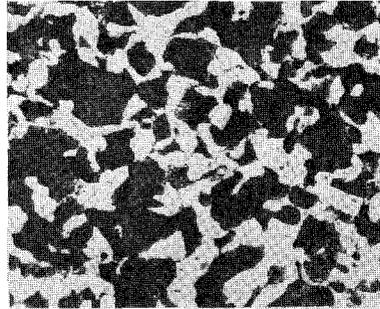
図-1 実験装置概略図

表一 被加工材の化学成分 (%)

|                             | C     | Si   | Mn    | P     | S     |
|-----------------------------|-------|------|-------|-------|-------|
| 純鉄 (S-1)                    | 0.004 | tr.  | 0.002 | 0.002 | 0.006 |
| 機械構造用鋼 S45C (S-2)           | 0.47  | 0.30 | 0.54  | 0.017 | 0.011 |
| 炭素工具鋼 SK-5 (S-3(L), S-3(G)) | 0.82  | 0.25 | 0.40  | 0.08  | 0.011 |



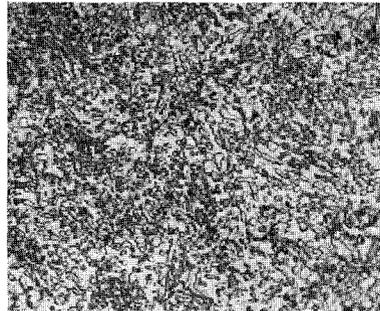
(a) S-1



(b) S-2



(c) S-3(L)



(d) S-3(G)

写真一 被加工材の顕微鏡組織 (×400)

常に  $23^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$  の範囲内で行ない電解液伝導度の変動をできるだけ小さくした。

#### 2-4. 実験手順

加工手順は、まず陰極上部に備えたダイヤルゲージにより電極間隙を 0.15 mm に設定し所定の電圧を印加し、このときの瞬間電流を mV 記録計で読みとった。この電流で工具の鏝の厚さ (0.5 mm) まで加工し、再び電極間隙の調整を行ない約 4 mm 深さまで加工を行なった。この際上記の加工電流が一定に保たれるようにモータの回転数を変化させた。この操作により、両極間の距離 (0.15 mm) が一定に制御されることになる。加工終了後、加工除去量の測定および加工穴断面の顕微鏡による観察を行なった。また塩素酸ナトリウム水溶液の場合、沃度加里澱粉試験紙による  $\text{ClO}^-$  イオンの存在の確認、および加工による電解液の濃度変化を JIS・K-1459 に示されている分析法により調べた。

### III. 実験結果および考察

#### 3-1. 被加工材の炭素含有量と加工速度の関係

被加工材の炭素含有量（パーライト組織の割合）が異なる鋼を、塩化ナトリウムおよび塩素酸ナトリウム水溶液で、それぞれ電解加工したときの加工電流と除去加工速度の関係を 図-2（電解液：塩化ナトリウム水溶液）および 図-3（電解液：塩素酸ナトリウム水溶液）に示した。いずれの電解液においても純鉄である S-1 試料の加工は、ほぼ理論除去加工量\*\*に一致しているのがわかる。またパーライト量が増大するにともない加工効率は低下し、塩素酸ナトリウム水溶液による加工では低電流において、加工がほとんど不可能になるのがわかる。Throop によると、塩素酸ナトリウム水溶液で加工電圧が約 9V になると加工面におよぼす  $\text{ClO}_3^-$  イオンによる不働態皮膜の影響で加工が停止するとのべている<sup>7)</sup>。しかしながら S-1 試料では、このような現象が認められないことから、 $\text{ClO}_3^-$  イオンの不働態皮膜の影響ではなくパーライト粒子の効果によって加工不能となるものと考えられる。すなわち、炭素は電気化学反応において最も不活性な元素であるため、電解加工においては、それは溶解困難な陽極残滓として加工物の表面に残留する結果である。これは 写真-2 の加工底断面の顕微鏡組織からも明らかである。S-1 試料では平坦な加工面が得られており均一に溶解されていると考えられるが、S-2 試料に

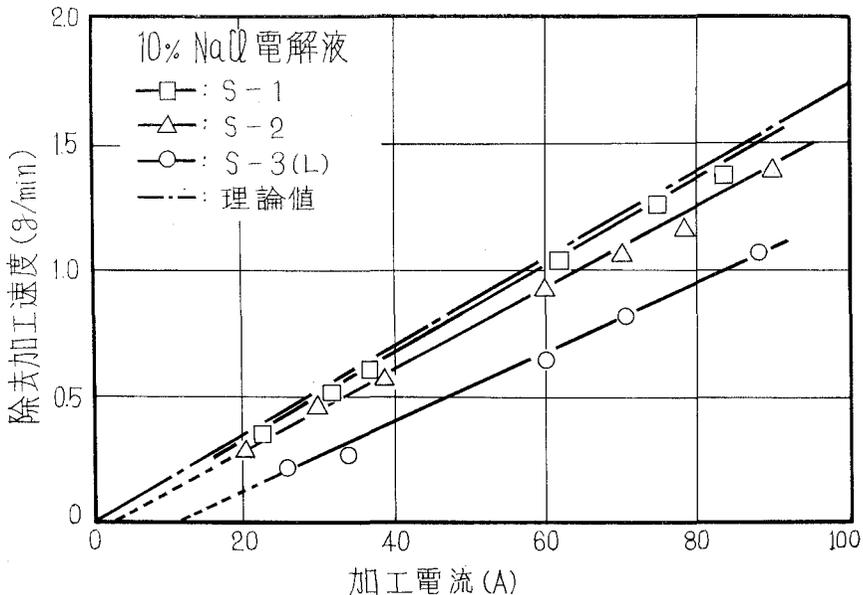


図-2 塩化ナトリウム水溶液による電解除去加工速度の変化

\*\* 理論除去加工量  $w$  (g/min) は、ファラデーの法則に従い次式により求まる。

$$w = 60 \times M \times I / 96,494 \times n$$

$M$ : 原子量,  $I$ : 加工電流,  $n$ : 原子価。

おいては、パーライト組織部分が未溶解のまま残りフェライト部が先行して溶解されているのがわかる。さらにパーライト組織のみのS-3(L)試料においては、パーライトコロニーの方向によって溶解量に差異が見られる。すなわち加工面に垂直なパーライト成長方向をもつ部分において平行な部分より溶解速度が早くなっているのがわかる。これらの結果は、いずれも鋼中

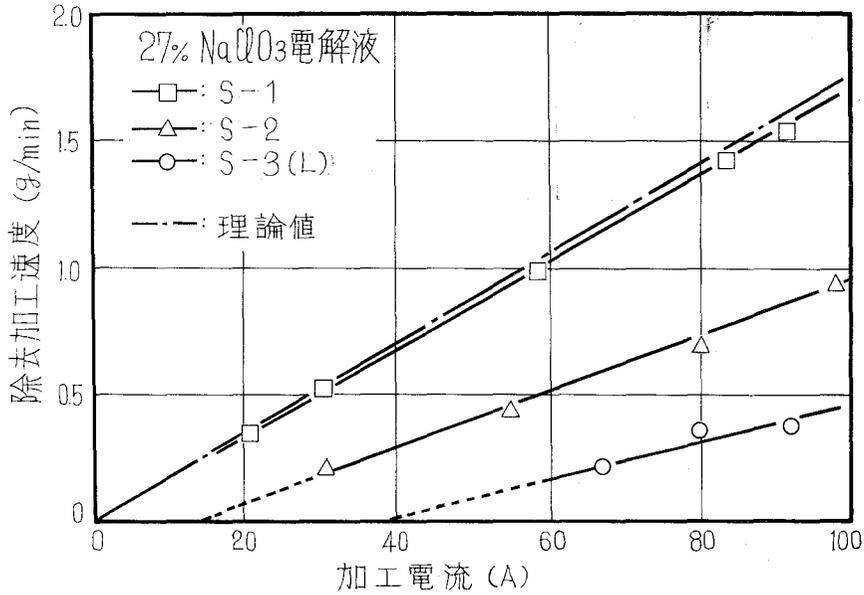
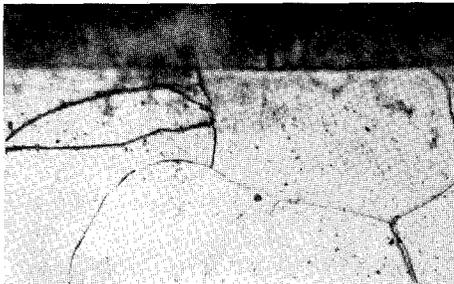
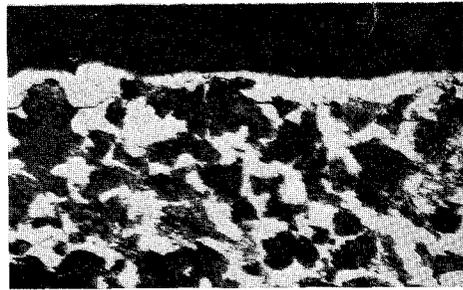


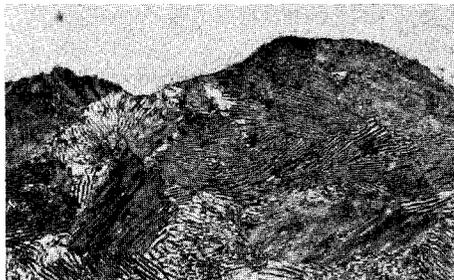
図-3 塩素酸ナトリウム水溶液による電解除去加工速度の変化



(a) S-1



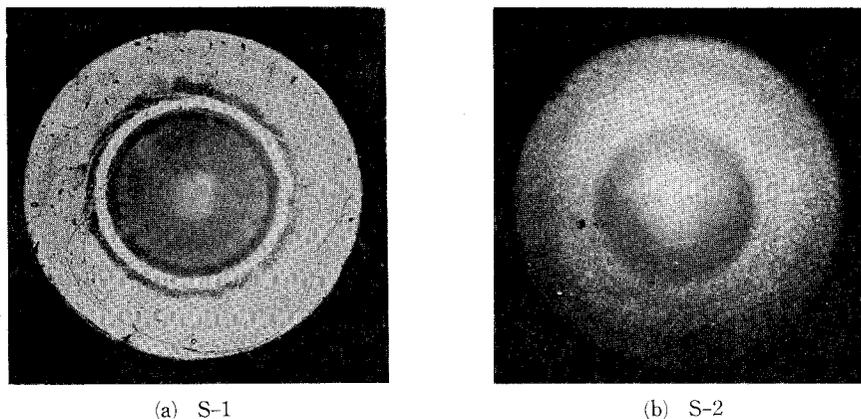
(b) S-2'



(c) S-3(L)

写真-2 加工底断面の顕微鏡組織 (×400)

電 解 液: 塩化ナトリウム水溶液  
加工電流: 30~40 A



(a) S-1

(b) S-2

写真-3 加工底面の比較 (×3)

電解液: 10% NaCl 水溶液 加工電流: 20 A

の炭化物 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) の不溶解性を説明しているものと考えられる。しかしながら、セメンタイトは鋼中において準安定な炭化物として存在できるが、単体状態では不安定であり分解してしまうことが一般に知られている。したがって、セメンタイトの周囲のフェライトが溶解されると離脱・分解の過程を経るものと考えられる。このため、パーライトの量、大きさあるいは分布状態によって加工速度が変化するものと考えられる。またこれら加工面上における溶解速度の相違は、当然加工面粗さに影響し写真-3に示したようにパーライトとフェライト組織の混晶からなるS-2試料においては、粗な加工面となっているのがわかる。

### 3-2. 被加工材の顕微鏡組織と加工速度の関係

図-4に球状パーライト組織であるS-3(G)試料の加工電流に対する除去加工速度の関係を層状パーライト組織のS-3(L)試料のそれと対比して示した。同図より明らかなように、セメンタイトの球状化処理を行なった被加工材においては、いずれの電解液においても著しく加工速度が大となっているのがわかる。特に、塩化ナトリウム水溶液における加工で理論除去加工量より加工速度が大で、加工効率は約115%に達している。これは写真-4に示したように、球状パーライトは周囲のフェライトの溶解により表面に露出する結果、結合が弱められ、ついには脱落するためと考えられる。すなわち理論除去加工量とセメンタイト粒子の脱落分が加え合わされた量が加工除去量となる。いま鋼中に1%の炭素が含有しているとすると、重量比で約15%の $\text{Fe}_3\text{C}$ が存在することになる。したがって加工表面に露出したセメンタイト粒子がすべて脱落によって除去されると考えた場合の除去量 ( $W'$ ) は次のようになる。

$$W' = (1 + 0.15C)w$$

但し、C: 炭素含有量,  $w$ : 理論除去加工量

この  $W'$  値は図-4に示したように、塩化ナトリウム水溶液によるS-3(G)試料の加工速度に完

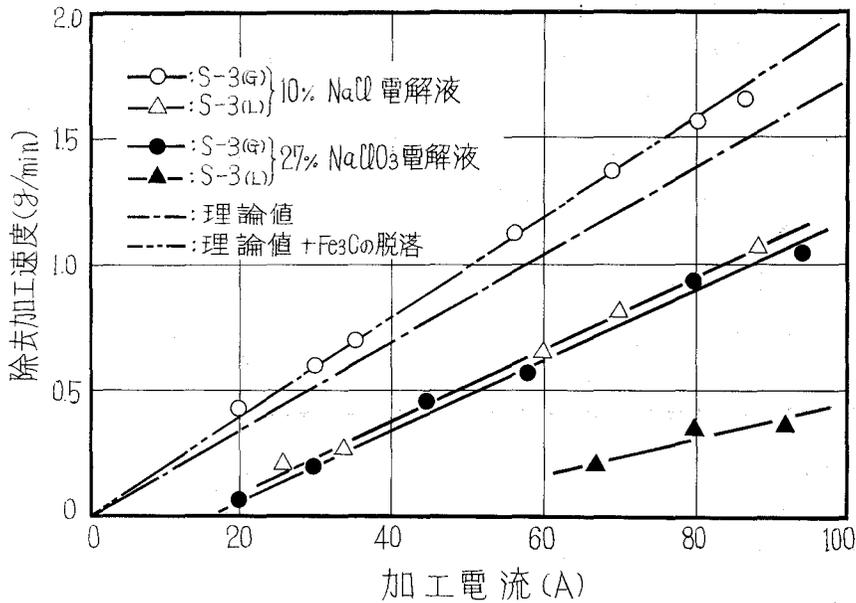


図-4 加工速度におよぼす組織の影響

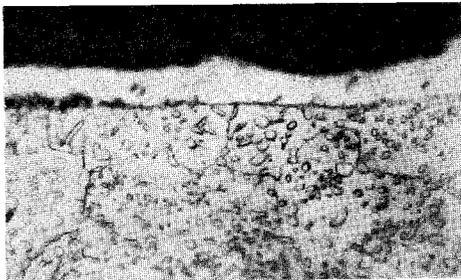


写真-4 S-3(G)の加工底断面顕微鏡組織 (×1000)

電解液: 塩化ナトリウム水溶液  
加工電流: 30 A

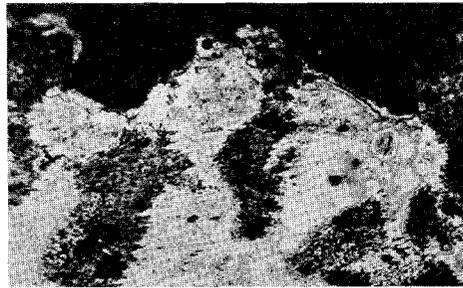


写真-5 S-2の加工底断面顕微鏡組織 (×600)

電解液: 塩素酸ナトリウム水溶液  
加工電流: 30 A

全に一致していることから、上記の推定は妥当なものと考えられる。一方塩素酸ナトリウム水溶液による加工では、加工効率が最大で65%程度であり、しかも低電流ほどその効率は小さくなっている。この理由については後述する。

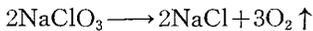
### 3-3. 塩素酸ナトリウム水溶液の加工特性

図-2、図-3および図-4から明らかなように、塩素酸ナトリウム水溶液による加工では純鉄のS-1試料を除く、S-2、S-3(L)およびS-3(G)試料の電解加工速度が塩化ナトリウム水溶液のそれに比較し著しく小さいのがわかる。この原因については、つぎの2つの理由が考えられる。

- (1) *Throwing power* が極めて小さい。
- (2) 塩素酸ナトリウムの分解反応が起り、加工効率を低下させる。

被加工材にセメントのような電解困難な物質が含まれている場合、*Throwing power* の小さい電解液では、電解困難な物質の囲りを溶解してその結合力を弱め脱落させる能力は極めて小さい。写真-5はS-2試料を塩素酸ナトリウム水溶液で加工したときの加工底断面である。比較的低電流加工のためパーライト粒子の脱落は一層困難であり、凹凸の著しい加工面となっているのが観察される。*Throwing power* は印加電圧に比例して小さくなる。したがって、本実験のように電極間隙を一定に保って電解加工した場合、電解困難なセメントの量あるいは大きさに応じて加工不能な電流値—臨界加工電流—が存在することになる。図-5は、図-2および図-3から外挿して求めた臨界加工電流と炭素含有量の関係である。*Throwing power* の小さい塩素酸ナトリウム水溶液の臨界加工電流は、塩化ナトリウム水溶液の約4倍であることを示している。これは*Throwing power* すなわちセメント脱落量が1/4であることを示していると考えられる。

塩素酸ナトリウム水溶液中での加工効率の低下は、加工以外の副反応の存在を示唆している。図-6は塩素酸ナトリウム水溶液による加工除去量と塩化ナトリウム生成量の関係である。明らかなように加工除去量に比例して塩化ナトリウム量が増大している。(これは電解液を循環させて繰り返し使用しているためである。)したがって、次式のような分解反応が高温状態にある加工面で起っているものと考えられる。



さらに、沃度加里澱粉試験紙により  $\text{ClO}^-$  イオンの存在が確認され、また鹿田ら<sup>8)</sup>の結果と一致して塩素臭が認められた。これらの結果より、塩素酸ナトリウム水溶液において

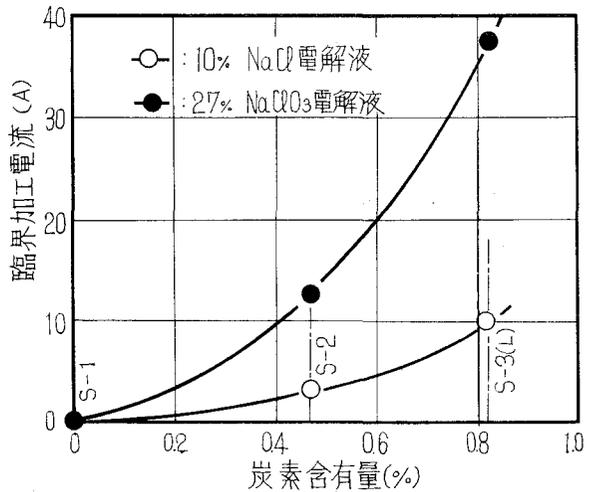


図-5 臨界加工電流と炭素含有量の関係

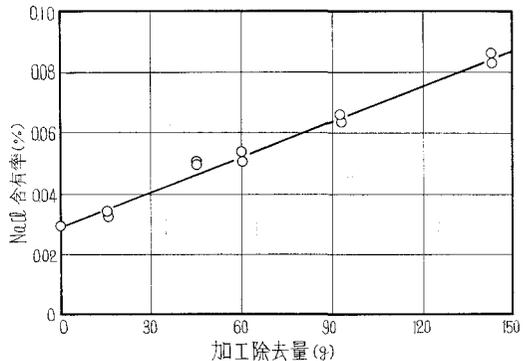


図-6 塩素酸ナトリウム水溶液中の塩化ナトリウム量の変化

は、加工以外に種々の副分解反応が起っているものと考えられる。

#### IV. 結 言

炭素含有量の異なる数種の鋼を塩化ナトリウムおよび塩素酸ナトリウム水溶液によって電解加工した結果、つぎのことが明らかになった。

(1) 被加工材の層状パーライト組織の増大にともない、除去加工速度は炭素含有量に比例して低下する。

(2) 球状パーライト組織の鋼では、加工速度が著しく増大する。特に、塩化ナトリウム水溶液による加工では、セメントタイト粒子の脱落によって理論除去加工速度より、それは大となる。

(3) 層状パーライト組織の鋼を加工した場合、加工面上に存在する電解不能なセメントタイトのため、低電流においては加工がほとんど停止する。*Throwing power* の小さい塩素酸ナトリウム水溶液においては、この現象が顕著である。

終りに本実験で使用した純鉄試料の提供ならびに加工材の分析に御便宜をいただいた新日本製鉄株式会社室蘭製鉄所の方々に厚くお礼申し上げます。また卒業研究として実験を担当された西正秀君(日本オリベッティ株式会社)ならびに坂敏雄君(株式会社朝日工業社)に感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は、北海道科学研究費によるものであることを付記する。

(昭和46.5.20受理)

#### 文 献

- 1) David. W. Fisher, *etal*: Electrochemical Machining, (Macdonald, 1968).
- 2) 佐藤敏一: 電解加工と化学加工(朝倉書店 1970).
- 3) 前田佑雄・齋藤長男・葉石雄一郎: 三菱電気技報, **41**, 10, 1267 (1967).
- 4) J. F. Kahles: Metals hand book, **3**, 237 (American Society for Metals 1967).
- 5) 勝田勝人: 機械技術, **17**, 2, 40 (1968).
- 6) 伊藤祐光: 機械技術, **17**, 2, 17 (1968).
- 7) J. M. Throop: Tool and Manufacturing Engr., **60**, 1, 70 (1968).
- 8) 鹿田順生・伊藤祐光・菊地 薫: 精密機械, **36**, 2, 94 (1970).