難削アルミニウム合金「ハイパーシルミン」の電解研削加工

財 満 鎮 雄* 高 橋 幸 男** 加 茂 進*

Application of Electrolytic Grinding on Machining
Difficult Aluminium Alloy "Hyper Silumin"

Shigeo ZAIMA, Yukio TAKAHASHI and Susumu KAMO

Some experiments on electrolytic grinding of a hyper-silumin which showed very poor machinability in respect of tool wear are carried out with a sodium nitrate solution as electrolyte and a trial electrolytic grinding wheel for the purpose of examining the applicability of electrolytic grinding on the alloy.

As the results, the applicability of electrolytic grinding on the alloy is superior and there are optimum electrolytic grinding conditions, i. e. current density, grinding pressure, grinding speed, electrolyte flow rate and others, in which the grinding removal rate is effective and the ground surface is better than that obtained by mechanical grinding. The structure and the heat treatment of the alloy show no great influences on the optimum electrolytic grinding conditions.

1. 緒 言

最近、強力アルミニウム合金鋳物の発達には目覚ましいものがあり、そのなかでも珪素21～23%程度を含み赤磷処理をした高珪素アルミニウム合金はいわゆるハイパーシルミン（あるいはアルジル）と称せられ、高温強度が大きく、耐摩耗性も良好であるため、耐熱耐摩耗性を必要とするピストン材として開

* 静岡大学工学部

** （株）日進機械製作所

発されたものである。しかし、高温強度や耐摩耗性に有効に作用する微細な珪素結晶の存在が、その機械加工性を困難にし、難削アルミニウム合金の代表的なものにしている。¹⁾ 例えば、旋削加工の際の工具摩耗は普通鋼材にもみられないような激しいものであり、とくに高速切削になるほど著しい。

著者らはハイパーシルミンの機械加工性を高める手段として、さきに研削加工に対する検討を実施してきたが、²⁾ 引続いてここにハイパーシルミンに対する電解研削加工の適用性を検討するための実験的研究を行なったので、その大要を簡単に報告する。

2. 実験要項

実験に供した試料は金型およびグラファイト型に鋳込んだ表1に示す化学成分の23.5%珪素のハイパーシルミン船形試験片から、5mm×5mm×50mmの角柱状に切断仕上げをしたもので、それぞれ鋳造のままのF材とT4処理を施したT4材を採用した。

これらの試料の顕微鏡組織は図1にみるように微小ビッカース硬さ(測定荷重25g) $H_V \div 750 \sim 800$ の極めて高い硬さの微細な初晶珪素が比較的柔かい $H_V \div 40 \sim 50$ 程度の基地に散在しており、マクロ的な普通のビッカース硬さ(測定荷重10kg)の比較的大きい押込圧痕によって硬さ測定を実施すれば、 $H_V \div 120$ 程度となりとくに高い硬さの材料というものでない。しかし、このように極めて硬さの高い微細珪素の存在が高温強度に有効な反面、機械加工の際に工具摩耗の主役を果し大きな障害の原因になるものと思われる。

電解研削装置は図2のように入力AC100Vをセレン整流器により半波ブリッジ直流波形とし、試料を⊕側、電解研削砥石を⊖側として回路を形成してある。この際、電解研削砥石はベークライトによって絶縁し、電解液は回転する砥石中心に注ぎ、

表1 供試試料の化学成分

	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mg (%)	Mn (%)	Ni (%)	Ti (%)	Al (%)
ハイパーシルミン	23.5	0.25	2.35	0.98	0.02	0.74	0.02	残

鋳造のまま (F材)

金型

グラファイト型

T4熱処理したもの (T4材)

金型

グラファイト型

図1 供試試料の顕微鏡組織

100μ

遠心力によって砥粒面に電解液被膜を形成するようにした。使用した電解研削砥石はWA 80 砥粒に純銅粉を混入して、グラファイト系結合剤により直径150mmφの磷青銅円板にカップ状（外径150mmφ，内径110mmφ，厚さ10mm）に焼結した試作電解研削砥石を主として使用した。また、電解液としては5%亜硝酸ソーダ水溶液を用い、歯車ポンプとフィルタを使用して循環供給した。

電解研削条件は電流密度を $5 \sim 60 \text{ A/cm}^2$ ，電解研削圧力を $1.0 \sim 6.0 \text{ kg/cm}^2$ ，電解液流量を $0.5 \sim 6.5 \text{ l/min}$ ，電解液温度を $10 \sim 40^\circ\text{C}$ ，研削砥石周速度を $3 \sim 22 \text{ m/sec}$ の範囲で適宜変化して組合せ、ハイパーシルミンの電解研削性ならびに適正な電解研削条件を検討した。

図2 電解研削装置

3. 電解研削の適用

砥石のドレッシングを行わず連続して研削加工を実施した場合に、単位面積、単位時間当りの加工量と研削時間との関係を求めれば、例えばグラファイト型、T 4 材について図3のようになる。ここで、研削砥石を単純な機械研削として使用した乾式機械研削では図にもみるように加工量それ自体も極めて少量で、研削時間の経過に伴っても加工量の増加もほとんど認められず、むしろ研削時間の経過に伴う砥石消耗の増加が目立ってくる。すなわち、前述のようにハイパーシルミンの機械加工の困難なことをこの点でも示している。次に、5%亜硝酸ナトリウム水溶液を研削剤とした湿式機械研削では研削時間があまり経過しない間は単位時間当りの加工量はほとんど変化せず、砥石の目つまりも認められないが、研削時間の増加につれて単位時間当りの加工量は次第に減少し、砥石の目つまりも比較的認められるようになって、研削能率が低下するようになる。なお、この際の砥石消耗は乾式機械研削の場合ほど著しいものではないが、やはり幾分の砥石消耗は認められている。また、5%亜硝酸ナトリウム水溶液を使用して電解研削を行えば研削時間の経過にも拘わらず単位時間当りの加工量も大きく、かつほとんど一定の加工量を示し、砥石の目つまりも生じないようで、砥石の消耗もほとんど認められず、ハイパーシルミンにおける電解研削の有用性が予想される。

電解研削条件：電流密度 24 A/cm^2
 研削速度 22 m/sec
 研削圧力 2.5 kg/cm^2
 電解液流量 6 l/min

図3 グラファイト型T 4 材の場合の研削時間の経過に伴う単位面積、単位時間当りの加工量の変化

いま、単位時間、単位面積当りの電解研削量を W ，その場合に通電を止めて湿式機械研削としたときの

図4 グラファイト型T4材の場合に電解研削能率に及ぼす研削圧力の影響

図5 研削速度と単位面積、単位時間当りの加工量の関係（グラファイト型T4材）

ど加工速度は大きい、ある周速度（ここでは約15m/sec）までは周速度の増加に伴って加工速度は上昇するものの、さらに周速度が増加しても加工速度の上昇は比較的ゆるやかになる。これは周速度が大きくなれば電解液が遠心力によって飛散して、加工速度がある程度以上に上昇できないようになるためと思われる。図6はグラファイト型T4材について、電解液流量の変化が加工量に及ぼす影響を求めた例であるが、電解液流量が少ない場合には砥粒面に十分な電解液被膜が形成されないため加工量も少なく、ある流量までは流量の増加とともに加工量も増加している。しかし、電解液被膜が形成されるに十分な流量をこえれば、流量の増加に拘わらず加工量はあまり増加せ

研削量を W_1 とし、 (W/W_1) を電解研削能率とすれば、この値は研削圧力によって例えばグラファイト型T4材では図4のように変化する。研削圧力の低い場合には砥石砥粒と被研削材の極間距離は比較的大きいので、砥石面に電解液が十分に行きわたることになり、電解効果は良好になり電解研削能率は大きい。研削圧力が上昇するに伴ない砥粒と試料間の極間距離はせばまるので、電解液が十分行き渡らず電解効果は妨げられ、電解研削能率は次第に小さくなっていく。さらに、研削圧力がある値以上になれば（ここでは約3 kg/cm²）、砥粒面にはほとんど電解液が行き渡らず電解研削能率はほぼ一定の値となっている。これは研削は機械研削のみの状態で電解研削は行なわれていないことを示し、かつ電解研削能率の値が一定になる研削圧力も電流密度が増大すれば高い領域に変化する。なお、電流密度が大きくなると、研削圧力が高まっても図にみるように多少の電解効果は認められるようである。

研削砥石の周速度が加工速度に及ぼす影響を求めれば、例えばグラファイト型T4材について図5のような研削速度と単位時間、単位面積当り加工量の関係が得られる。普通の機械研削に比べて電

図6 単位面積、単位時間当りの加工量に及ぼす電解液流量の影響（グラファイト型T4材）

ずはぼ一定値を示すようになる。また、電解液（亜硝酸ソーダ水溶液）濃度の影響を求めれば、例えばグラファイト型 T 4 材では図 7 のようになり、濃度が低い場合には加工量も少ないが、実験範囲では約 10 % 以上の濃度では加工量もほぼ一定になる。しかし、5 ～ 10 % 程度の場合の加工量の減少はさほど甚だしいものではない。電解液液温の影響は液温が低い場合加工量もやや減少するが、約 20℃ 以上ではほとんど差がないので問題とするにはいたらない。

供試材の組織状態によって電解研削に難易があるかどうかを確かめてみれば、例えば表 2 のような結果を得た。F 材と T 4 材では硬さは後者の方が高いにも拘わらず加工量にはほとんど差が認められない。熱処理によって基地は変化しても、珪素結晶に大きな変化がないためと思われる。しかし、金型とグラファイト型では硬さにはほとんど差がないにも拘わらず前者の場合がやや加工量が大きい。これは鑄造の際の冷却速度に差があり、金型の場合はグラファイト型の場合より珪素結晶が細かく分散しているのが影響しているものと考えられる。

電解研削条件：研削速度 22m/sec
研削圧力 2.5 kg/cm²
電解液流量 6ℓ/min

図 7 単位面積，単位時間当りの加工量に及ぼす電解液（亜硝酸ソーダ水溶液）濃度の影響（グラファイト型 T 4 材）

表 2 試料状態の相違による加工量の変化

試 料	鋳型の種類	電 流 密 度 (A/cm²)	加 工 量 (g/cm²·min)	ビッカース硬さ (10kg)
F 材	グラファイト型	16	0.65	123
		32	1.05	
	金 型	16	0.68	120
		32	1.15	
T 4 材	グラファイト型	16	0.65	130
		32	1.03	
	金 型	16	0.68	128
		32	1.10	

電解研削条件：研削速度 22m/sec， 研削圧力 2.5 kg/cm²， 電解液流量 6ℓ/min

4. 他金属の電解研削と比較

以上のように、ハイパーシルミンは電解研削の適用が容易であることが判ったので、ハイパーシルミンの電解研削と同一条件のもとで単位面積，単位時間当りの加工量を炭素鋼（S 50 C），高速度鋼（SKH 4）および 18-8 ステンレス鋼などの加工量と比較すれば表 3 のようになる。ハイパーシルミンの加工量は S 50 C に比べればかなり小さいが、SKH 4 よりは大い値を示し、18-8 鋼の場合とほぼ等しい程度

である。切削加工も容易であるS50Cでは加工量は大きく、機械研削量も大きく、砥石の消耗も相当大きいようであった。

また、本報で使用した試作電解研削砥石(WA80使用)と市販の合金鋼用電解研削砥石(WA120使用)の加工速度を比較すれば、例えば表4のようになる。市販砥石ではハイパーシルミンはSKH4と同程度の加工量を示し、かえってS50Cは加工量が小さくなっており、全体として試作砥石の方が効果的である。これは使用している砥粒の粒度が大きいことも効いているが、とくにハイパーシルミンでは電解作用で珪素粒子が結合をゆるめられ、それをかき落すように作用するのに粒度の大きい砥石がより効果的なためと思われる。

5. 電 解 研 削 面

ハイパーシルミンの電解研削面と湿式機械研削面の表面あらさおよび電解研削面の表面あらさに及ぼす電流密度の影響を示せば、例えばグラフA1型T4材について図8のようになる。

機械研削の場合には表面に方向性のある線条痕が多く認められ、その仕上面あらさも砥粒が擦過した状況を示す大きな凹凸からなるが、電解研削面では線条痕もいくぶん消えたような梨地状になり、表面あらさは小さな値となって表面状況は向上する。また、電流密度には最適条件があるようで、図にみるような電流密度範囲(ここでは $32 \sim 33 \text{ A/cm}^2$)までは電流密度の増加とともに表面あらさは向上するが、その範囲をこえて電流密度を増加させれば電圧の上昇を伴って放電痕を生じ、表面あらさが劣化する。図9はその実際の状況を示す写真である。

表3 他金属との研削能の比較

試 料	研 削 の 種 類		加 工 量 g/cm ² ・min
ハイパー シルミン	湿 式 機 械 研 削		0.8
	電解 研削	電流密度 16 A/cm ²	1.0
		電流密度 32 A/cm ²	1.2
18-8 ステンレス鋼	湿 式 機 械 研 削		0.9
	電解 研削	電流密度 16 A/cm ²	1.1
		電流密度 32 A/cm ²	1.2
高速度鋼 (SKH4)	湿 式 機 械 研 削		0.3
	電解 研削	電流密度 16 A/cm ²	0.6
		電流密度 32 A/cm ²	0.7
炭 素 鋼 (S50C)	湿 式 機 械 研 削		3.5
	電解 研削	電流密度 16 A/cm ²	3.8
		電流密度 32 A/cm ²	4.2

電解研削条件：研削速度 22 m/sec ，
研削圧力 2.5 kg/cm^2 ，
電解液流量 6 l/min

表4 試作電解研削砥石(WA80)と市販合金鋼用
電解研削砥石(WA120)と加工量の比較

試 料	砥石の種類	加工量 ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{min}$)
ハイパーシルミン	WA 80	1.2
	WA 120	0.4
18-8 ステンレス鋼	WA 80	1.3
	WA 120	0.3
高 速 度 鋼 (SKH4)	WA 80	0.6
	WA 120	0.4
炭 素 鋼 (S50C)	WA 80	4.2
	WA 120	0.1

電解研削条件：電流密度 32 A/cm^2 ，
研削速度 22 m/sec ，
研削圧力 2.5 kg/cm^2 ，
電解液流量 6 l/min

研削圧力が電解研削面の表面あらさに及ぼす影響を求めれば、例えばグラファイト型 T 4 材では図 10 のようになり、その実際状況は図 11 のようになる。研削圧力が $1 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ と低い場合には砥粒と試料面間の極間距離が大きく、電圧が上昇して放電を生ずるので研削面に放電痕を残して仕上面は比較的良好でない。研削圧力が 3 kg/cm^2 と増大すれば放電痕もなくなり、仕上面状況は向上するが、さらに研削圧力が増大すれば砥粒の引掻条痕が残る仕上面は劣化するようにになる。すなわち、電解研削仕

電解研削条件：研削速度 22 m/sec ，
研削圧力 2.5 kg/cm^2 ，
電解液流量 6 l/min

図 8 電解研削面の表面あらさに及ぼす電流密度の影響および湿式機械研削面 (グラファイト型 T 4 材)

電解研削条件：電流密度 24 A/cm^2 ，
研削速度 22 m/sec ，
電解液流量 6 l/min

図 10 電解研削面の表面あらさに及ぼす研削圧力の影響 (グラファイト型 T 4 材)

湿式機械研削

電解研削
電流密度 8 A/cm^2

電流密度 32 A/cm^2

電流密度 40 A/cm^2

0.2mm

電解研削条件：図 8 と同じ
図 9 電解研削面状況例 (1)

電解研削
研削圧力 1 kg/cm^2

研削圧力 3 kg/cm^2

研削圧力 5 kg/cm^2

0.2mm

電解研削条件：図 10 と同じ
図 11 電解研削面状況例 (2)

上面あらさにも仕上面を良好にする最適範囲があるようで、その値より研削圧力が大きくとも小さくとも仕上面はよくない。

6. 電 解 研 削 量

表5 電 解 研 削 量

ファラデーの法則によって理論的研削量を求め、実際の電解研削量より機械研削量を差引いた値を純電解研削量として求めれば、例えば表5のようになる。表にみるように実験値は理論値の約2倍の大きさを示し

電流密度 (A/cm^2)	1.6	3.2	4.8
理論電解量 (g)	0.09	0.19	0.28
純電解量 (g)	0.16	0.34	0.68

電解研削条件：図4と同じ

ているが、これは普通の状態では珪素結晶は電解液亜硝酸ナトリウム水溶液とは反応せず安定しており、珪素結晶の周囲の基底が電解作用により溶解して、珪素結晶を浮かせるようになり、研削砥石の砥粒でその珪素結晶をかき落すように加工が進行するためと考えることができる。

7. 結 言

難削アルミニウム合金「ハイパーシルミン」の加工性を高める一つの試みとして、電解研削に対する適用性を検討した。要約すれば、

- (1) ハイパーシルミンは電解研削加工を適用して良好な結果が期待できる。
- (2) 放電現象が生じない範囲内で電流密度、研削圧力などに加工能率がよく、研削仕上面も良好になる電解研削条件が存在する。また、研削速度、電解液流量、電解液濃度などにも最も効果的な値があるようである。
- (3) 上記最適電解研削条件における電解研削面は湿式機械研削面に比べて仕上面状況が優れているが、放電が発生する条件下の電解研削面は劣っている。
- (4) ハイパーシルミンの組織、熱処理などの差による最適電解研削条件にはほとんど差が認められなかった。

(1971. 1. 12 受付)

参 考 文 献

- 1) S. Zaima: Über die Zerspanbarkeit einiger Schwer zu Bearbeitenden Aluminium-Legierungen, 静岡大学工学部研究報告, 19(1968), P. 1~14
- 2) 財満, 高橋, 下江, 滝水: アルジルの研削加工に関する研究(第1報), 軽金属, 18, 6(1968), P. 332~338 および財満, 高橋, 富田: アルジルの研削加工に関する研究(第2報), 軽金属, 18, 8(1968), P. 417~420