



高速精密加工可能な新合金被覆放電加工用電極線 (新製品スミスパーク®ガンマ)

New High-Speed Precision Steel Core EDM Wire with New Alloy Coating (SUMISPARK™ Gamma)

杉村 和昭*
Kazuaki Sugimura

岩本 力俊
Katsutoshi Iwamoto

泉田 寛
Hiromu Izumida

近年のIT関連の半導体、精密電子部品製造において、金型に用いられる超硬材料の精密加工には、電極線から材料へアーク放電を起こし、瞬間的な高熱によって材料を局部的に熔融・除去するワイヤ放電加工が適している。加工メーカーが抱える高い顧客要求に伴い、放電加工電極線にも、高速加工、高精度、高品位といった面での要求が高まっている。住友電工スチールワイヤー(株)は、鋼芯の表面に新合金 γ 相黄銅を被覆した放電加工電極線「スミスパークガンマ」を開発した。新合金の優れた放電特性とそれに適した加工条件設定によって、高速加工、高精度の両立を実現した。また、当社のコア技術である高炭素鋼線の伸線加工技術を活用し、芯材である鋼の高強度化に成功した。これにより、電極線の断線を抑制しつつ、更に、加工中の張力を大きくし、線の振動を抑えることで精密加工が可能となった。本報では、スミスパークガンマの特長と性能について述べる。

In recent manufacturing processes for fine electronic parts and semiconductor industries, wire electric discharging machining (EDM) is suitable for the precision machining of cemented carbide molds. Against the backdrop of customer request for processed products with higher quality, electrical discharge machining electrode wire has been expected to exhibit higher performance, such as high-speed machining, high precision, and high strength. Sumitomo (SEI) Steel Wire Corp. has developed discharge machining electrode wire "SUMISPARK™ Gamma." This electrode wire is coated with the new alloy γ -phase brass on the surface of the steel core. The excellent discharge characteristics and processing condition settings appropriate to the new alloy have achieved high-speed processing and high-accuracy cutting. Furthermore, with one of our core technologies (High-carbon steel wire drawing technologies), we have succeeded in increasing the strength of the steel core. These developments have made it possible to suppress breaking of the electrode wire, increase the wire tension during processing, and suppress the vibration of the wire, thereby allowing precision machining. In this paper, we describe the features and performance of SUMISPARK™ Gamma.

キーワード：ワイヤ放電加工、電極線、EDMワイヤ、鋼芯、 γ 相黄銅

1. 緒言

ワイヤ放電加工とは、一定速度で送られるワイヤと被加工物(以下ワーク)との間に電圧をかけ、放電を発生させ、その電気火花による高温を利用してワークを局部的に熔融、除去する加工方法である(図1)。これにより、切削加工では不可能な高精度加工が可能となる。放電加工用電極線では、加工精度(線径)によって3種のワイヤが使い分けされている。 $\phi 0.15\text{mm}$ 以上では安価な黄銅線、 $\phi 0.05\text{mm}$ 未満では高価なタングステン線、そして加工精度、価格共にその中間に位置する、鋼芯の表面に主に黄銅を被覆した鋼芯線がある。

近年、精密加工分野においても、より精細化や納期短縮、コスト低減の要求が有り、放電加工用電極線も例外ではない。そのため、高速加工が可能なり安価な電極線が求められている。

更に、近年ワイヤ放電加工機は、初期設定以後は機械制御・電子制御による自動運転機能が標準となっており、少人数、もしくは無人稼働する場合が主となっている。そのため、電極線は破断のしにくさ、そしてワイヤを自動的にワークの下穴に通し、結線する「自動結線」の成功率に関係する

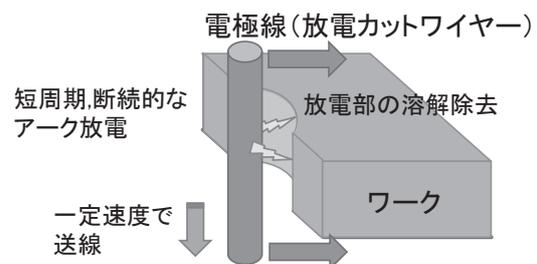


図1 ワイヤ放電加工模式図

真直性も必要となり、電極線が応えるべき性能は多く、かつそれぞれが高いレベルとなっている。このような要求に応えるべく、今回、従来にない電極材料を採用した高強度鋼芯ワイヤ放電加工用電極線「スミスパークガンマ」を開発した。以下に、この製品の特長と加工性能を述べる。

2. 鋼芯放電加工ワイヤの課題

従来、ワイヤ放電加工に用いられてきた鋼芯電極線は、電極材料に α 相黄銅、 β 相黄銅、もしくはその混合相が使われている。また、高速加工を目的とする場合は、更に最外層に亜鉛を被覆したワイヤが存在する。これまで、亜鉛は仕事関数が低いために放電を起こしやすい為高速加工が、また、低沸点材料であるZnの蒸発熱によるワイヤの冷却作用や熱分散作用から、放電起点の集中とワイヤダメージの集中を抑制し、加工中の破断の起きにくい安定加工が、それぞれ可能とされてきた。しかしながら、高速加工をする場合、ワークへのダメージも大きいために、加工精度が下がってしまう。

また、加工精度を上げる目的で、ワイヤの振動を抑えるために張力を上げて加工する必要がある。これにより、破断のリスクが高まる。顧客によっては加工精度を高める余り、従来鋼芯電極線では耐えることができない張力での加工の必要性から、高価なタングステンワイヤを用いざるを得ない場合も有った。そのため、電極線の張力許容限を高くし、タングステンワイヤ領域での加工が可能となれば、加工コストの低減に寄与できる。

これらのことより、鋼芯電極線の解決すべき課題は、①高速加工と面精度の両立、②高いワイヤ強度に大別できる。

3. スミスパークガンマの特長

3-1 電極材料の特長

当社研究開発部門において、電極材料中の放電起点となる亜鉛の量を増やし、また、亜鉛を分散させることで、加工の効率を向上させることが見出された。中でも、亜鉛含有量が60~70%となる γ 相黄銅において、最も加工速度が優れることを見出し(図2、3)、スミスパークガンマの電極材料に採用した。

(出典) 朝倉書店「金属材料学」

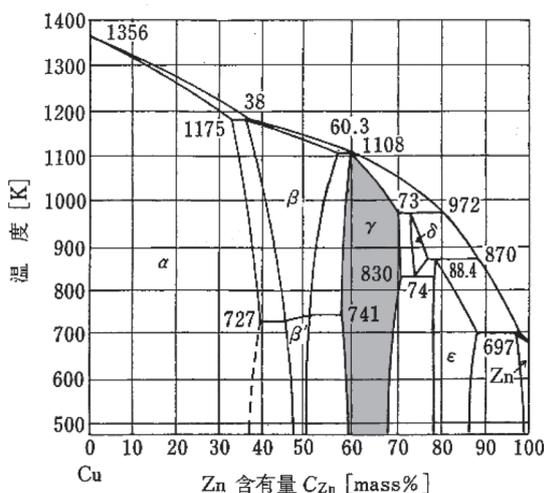
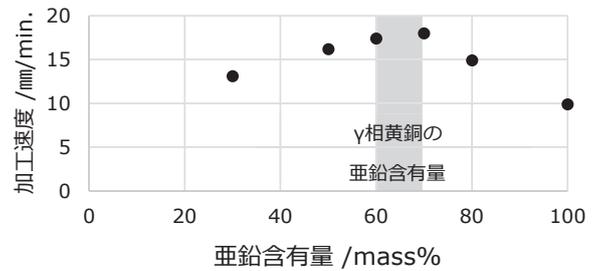


図2 銅亜鉛二元系状態図⁽³⁾



加工機：ファナック製 d-0iE
ワイヤ径： ϕ 100 μ m
ワーク素材：SKD 11 ϕ 10 mm
加工液：水

図3 亜鉛含有量に対するワイヤ放電加工速度

3-2 ワイヤ構造と特性

スミスパークガンマと従来鋼芯電極線との構造比較を図4に示す。スミスパークガンマは、鋼芯表面に γ 相黄銅単相を断面積比16~40%となる厚めつきを施したワイヤである。

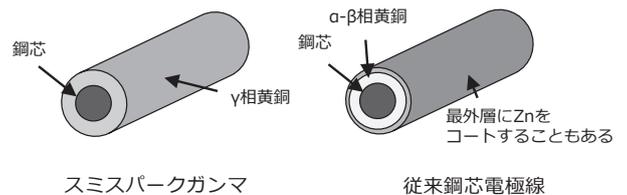


図4 スミスパークガンマと従来鋼芯電極線との構造比較模式図

γ 相黄銅は合金中の銅の比率が低いために、導電率が α 相、 β 相黄銅と比較して低い。そのため、スミスパークガンマの導電率は黄銅被覆鋼芯電極線よりも低い値となる(表1)。

表1 鋼芯電極線導電率

	従来黄銅被覆鋼芯電極線	スミスパークガンマ
導電率	14~17%IACS	9~12%IACS

前述のように、電極線は高強度(引張強度2,000N/mm²以上)を求められており、その時の鋼芯の引張強度は3,500 N/mm²以上となる。ワイヤに強度を付与するためには強加工を付与する必要があるが、 γ 相黄銅は非常に硬く、脆い素材であり、加工性に乏しい。そこで、ソーワイヤーやスチールコードのような細径高強度黄銅被覆ピアノ線を製造してきた住友電工スチールワイヤー(株)の伸線加工技術を横展開し

た。ワイヤ加工に用いる引抜きダイスの素材への表面摩擦の小さいダイヤモンドダイスの適用や、ダイスの形状、加工減面率の適正化による、表面めっきとダイスの摺動部面圧の分散等種々の対策によって、 γ 相黄銅めっきを有した高強度鋼芯電極線の製造を実現し、その強度は従来鋼芯電極線の1.2倍程度となった(図5)。

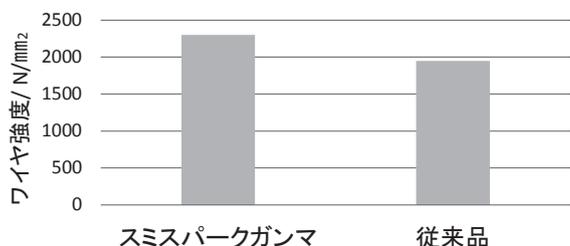


図5 50 μ m品の強度評価結果

ワイヤ放電加工において、加工位置の変更や、電極線の破断などで一時的にワイヤが切断された際、加工機には自動的に通線する自動結線機能が標準搭載されている。自動結線は、ワークに開けた下穴(ワイヤ径の10倍程度)に線を垂下し、下部ノズルに通して結線する。そのため、自動結線の成功率は電極線の真直性が大きく影響している。真直度は、図6に示すように、1mの長さのワイヤを垂直に垂らした状態で最も大きく歪曲する範囲として定義した。

独自の真直性付与工程により、高強度でありながら従来鋼芯電極線同等の伸直性100mm未満を実現し、安定した稼働が可能となる。

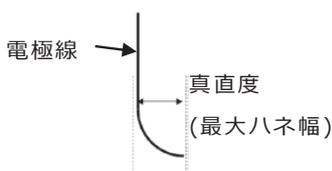


図6 真直性評価手法模式図

4. 放電加工評価

50 μ m電極線使用における、亜鉛コート黄銅被覆鋼芯電極線(以下従来品)と、スミスパークガンマの放電加工特性評価試験を行った。ワークには超硬合金G4(タングステンカーバイド)10mm厚材を使用し、加工機には、(株)ソディック製AP-200Lを用い、油中加工を行った。加工条件は、(株)ソディックが設定する50 μ mタングステンワイヤ使用10mm厚超硬材切削用加工条件を標準設定として用いた。

主な加工条件は表2に示す。評価結果を図9に示す。

表2 標準設定加工条件

加工条件	ON	OFF	サーボ電圧	加工中電圧	送り速度
	0	17			90
標準設定	0	17	90	0	10

ON: 放電パルス電流を付与する時間の設定値

OFF: 放電パルスが消沈した後、電流を停止する時間の設定値

サーボ電圧: 電極線とワーク間の電圧の平均値の設定値

加工中電圧: 加工パルス発生時にかける電圧の設定値

送り速度: ワークに対する電極線の位置の最大移動速度の設定値

標準の設定条件では、従来品の加工速度が0.42mm/min.に対し、スミスパークガンマでは0.35mm/min.となった。スミスパークガンマは、従来鋼芯電極線と比較し、導電率が低い。そのため、従来鋼芯電極線を使用する場合の加工条件では、パルスエネルギーが低く、ワークの融点に達しないと考えられた。そこで、実際の加工中に発生するパルスエネルギーを測定するために、図7に示すように、加工機加工中電流、電圧を測定した。加工電流を正確に測るため、測定用電流経路以外はワークと設備間に絶縁を施した。測定には、Tectronix製デジタル・フォスファ・オシロスコープを用い、プローブには100MHz以上対応のものを用いた。測定する波形の模式図を図8に示す。

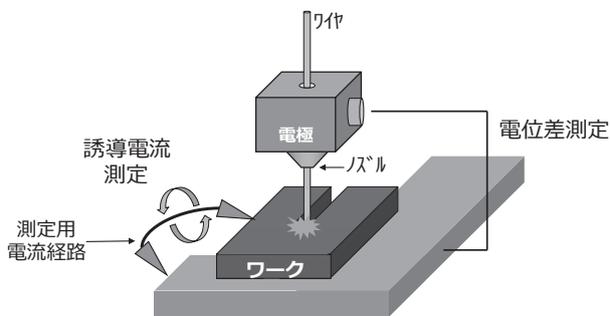


図7 パルス電流測定手法模式図

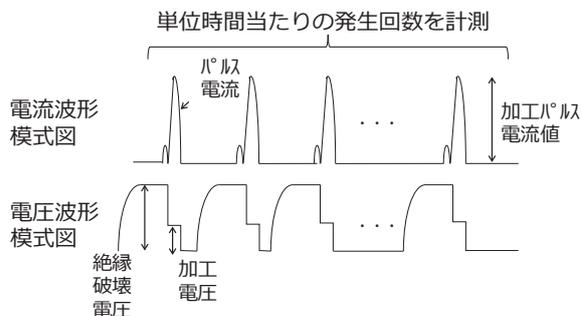


図8 パルス電流・電圧波形模式図

波形の解析結果を表3に示す。

表3 標準条件におけるパルス解析結果

	スミスパークガンマ	従来品
加工速度 mm/min.	0.35	0.42
放電回数 ×10 ⁴ 回/秒	2.25	1.30
パルス電流最大値 A/pulse	1.70	2.13
パルス電流平均値 A/pulse	1.42	1.49
短絡率	7%	15%

スミスパークガンマは、1パルス当りの放電電流は低いものの、放電回数が従来鋼芯電極線と比較して多いという特徴があることが分かる。ワークを融点まで加熱するのに十分なエネルギーを付与すれば、放電回数に応じて加工速度が増すと考えられた。そこで、加工中電圧を上げて電流値の増加を図った。更に、設定値の内、オフ時間（パルスと次のパルスとの間の電流休止時間）の短縮、サーボ電圧（ワーク-電極線間の電圧）を下げ、ワーク-電極線間の距離を短縮することにより、放電発生をしやすくなる条件へ変更した。しかしながら、サーボ電圧を下げることで、電極線とワークの接触（短絡）が発生しやすくなる。短絡が発生すると、電極線に物理的なダメージが加わり、破断に至る確率が高くなる。そこで、測定したパルス波形から、短絡によるパルス電流とアーク放電によるパルス電流をそれぞれ算出し、合計の内短絡による電流の数の割合、即ち短絡パルス電流数／（短絡パルス電流数+加工パルス電流数）を短絡率と定義し

表4 多放電設定加工条件

加工条件	ON	OFF	サーボ電圧	加工中電圧	送り速度 mm/min.
スミスパーク γ多放電設定	0	8	40	2	15
従来品 多放電設定	0	8	80	3	15

表5 多放電設定でのパルス解析結果

	スミスパークガンマ	従来品
加工速度 mm/min.	0.98	0.77
放電回数 ×10 ⁴ 回/秒	3.85	2.60
パルス電流最大値 A/pulse	3.08	4.19
パルス電流平均値 A/pulse	2.56	3.15
短絡率	50%	52%

て算出した。実際にこの短絡率が60%程度を超えると、放電が不安定になり、加工中の破断が頻発するようになった。このことから、短絡率55%を上限とし、スミスパークガンマ、及び従来品の加工条件設定を変更し、加工速度の評価を行った。この時の加工条件、及びパルス解析結果をそれぞれ表4、5に示す。以下この加工設定を、多放電設定と称する。

加工中電圧の上昇によって、パルス電流の増加が見られ、サーボ電圧の低下に伴い、放電回数の増加、加工速度の向上がみられた。これにより、スミスパークガンマによる加工速度は、標準設定の約3倍の0.98mm/min.まで向上した。従来品においてもサーボ電圧を低く設定するに伴い、加工速度の上昇が見られたが、短絡率52%となった時点では0.77mm/min.に留まった。

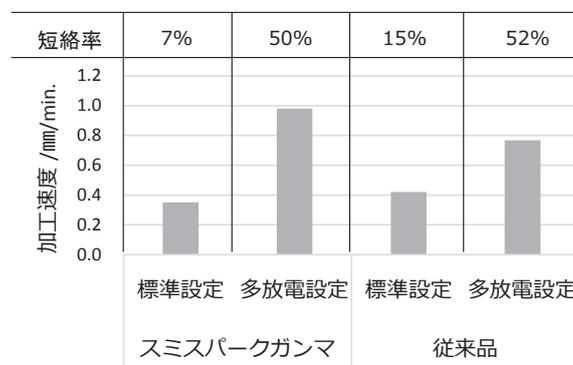


図9 加工評価結果

放電加工中にかかる電圧は一定して約20~30Vとされており、サーボ電圧は30V以下となると、放電せずにワークと電極線が接触する確率が高くなる。そこで、安定稼働のためには、サーボ電圧40Vの設定が下限であると考えられる。

スミスパークガンマを使用した場合の、ワーク面粗度の結果を図10、11に示す。加工は1stCutを前述の標準設定、多放電設定によって行い、2ndCut以降は(株)ソディック製放電加工機AP-200Lに設定されているφ50μmタンブステンワイヤ使用条件に則り、計9回加工を行った。測定には、(株)東京精密製サーフコム2800Eを用い、JIS2001に準拠して測定した。

表面粗さ測定の結果からγ相黄銅の特長である「エネルギーの小さい放電パルスを高回数付与する」加工によって、1パルス毎のワーク溶融範囲が小さくなり、結果、面精度の向上が得られたと考えられる。

加工時の耐張力の比較を図12に示す。φ10mmの超硬合金加工時に、張力を段階的にあげ、破断した際の張力を調査した。加工機は前述の(株)ソディック製ワイヤ放電加工機を用いた。より電極線にとって厳しい条件とするため、ワークとノズルの距離を10mmあけ(いわゆる両浮加工)、実験を行った。

スミスパークガンマは、従来鋼芯電極線よりも1.4倍の張力に耐える。これは、ワイヤ強度の差異のみによるものでは

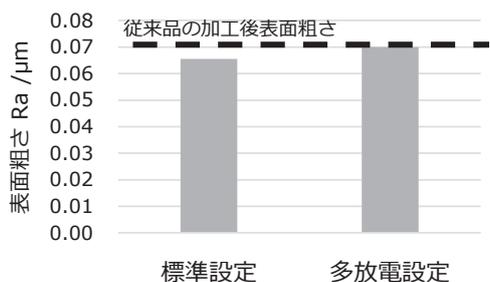


図10 スミスパークガンマを用いた際の加工後表面粗さ (Ra)

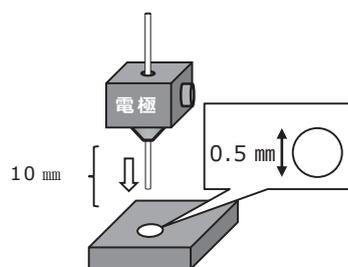


図13 自動結線評価手法模式図

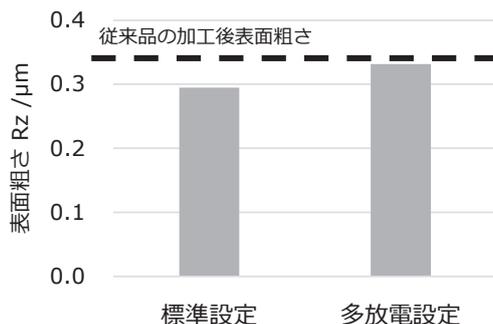


図11 スミスパークガンマを用いた際の加工後表面粗さ (Rz)

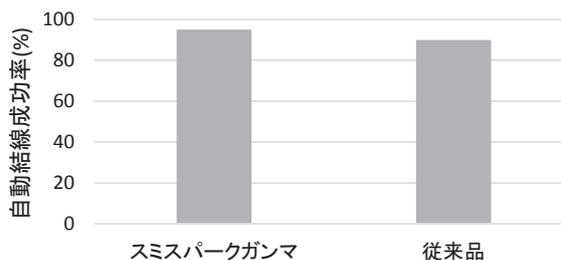


図14 自動結線成功率評価結果

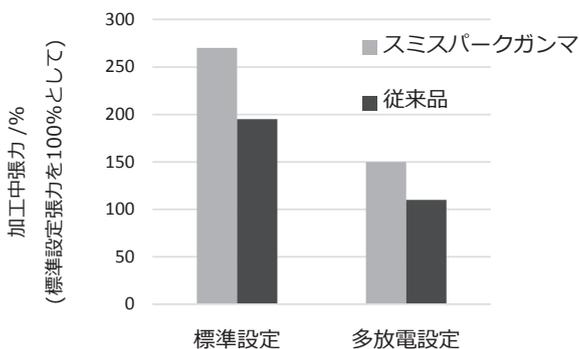


図12 加工中耐張力評価結果

ないことがわかる。スミスパークガンマは、高いワイヤ強度に加え、表面層に亜鉛が多く含有している。そのため、加工による熱が鋼芯に伝わりにくく、強度を保持できると考えられる。これにより、加工中の破断が抑制され、より安定した加工が可能となる。

自動結線成功率を見るために、(株)ソディック製放電加工機を用い、10回の自動結線を実施して、成功率を調査した。図13に示すように、ノズルから10mm離れた板の0.5mmの穴を通すよう設定し、自動結線を行った。図14に結果を示す。

この結果から、従来鋼芯電極線同等以上の自動結線性があると考えられる。

5. 加工事例

これまでに、スミスパークガンマは高速かつ精密な加工が可能であり、かつ高張力であることが見出された。ここで、スミスパークガンマの特長を活かした加工事例を紹介する。図15に示すように、直角に加工する設定において、スミスパークガンマを用いた場合のコーナーRの精度を測定した。加工機、ワーク素材は前述のものを使用した。実験は図16に示すように、ワーク上部と下部で差が出やすいよう、ワーク上部に加工機のノズルを密着させ、下部は10mmの間隔をあけた。標準の張力設定と、2ndCut以降の張力を25%上げた高張力設定で比較した。加工条件は、1stCutのみ、多放電設定とし、2ndCut以降は張力設定の他は(株)ソディック社標準の設定条件を用いた。図17に結果を示す。

スミスパークガンマを用いて高張力で加工を行うことにより、コーナーRを最小値に極限まで近づけることが可能となり、より精密な加工が実現できる。

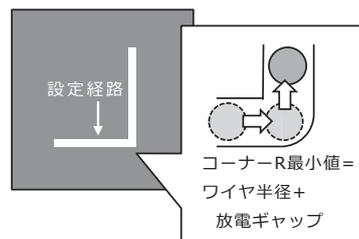


図15 加工経路模式図

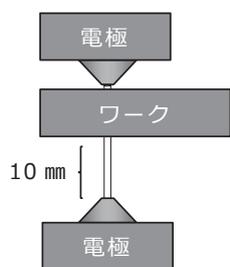


図16 ワーク設置模式図

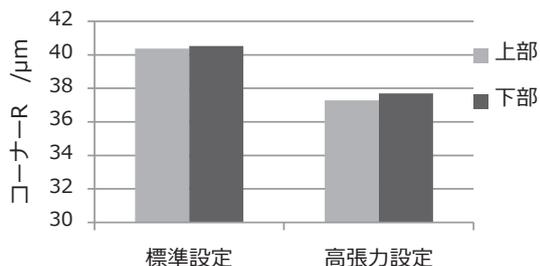


図17 コーナーR評価結果

6. 今後の展望

スミスパークガンマを用いて、導電材料であるタンブステンカーバイドにおける加工性評価結果を示した。ワイヤ強度が高いことを利用し、より細径 ($\leq \phi 40\mu\text{m}$) の市場への参入に挑戦していく。また、放電加工において、現在SiC等の半導体、セラミックのような不導体においても加工が可能であることが報告されている⁽⁴⁾。そのような素材においても、スミスパークガンマの適用、そして今回紹介した手法による加工条件の適正化によって、実現を目指す。

7. 結 言

スミスパークガンマを使用することによって、高速加工とワーク面精度向上の両立、及び安定加工が可能となった。これにより、設備稼働時間、ワイヤ使用量を低減させることもでき、生産性の向上と共に、製造コストの低減も可能となる。住友電工スチールワイヤー(株)では15年1月より、本格販売を開始しており、顧客より高い評価を得ている。これにより、精密部品加工におけるあらゆる要求に応えることができると期待している。

・文中に記載された会社名・商品名は各社の商標または登録商標です。

参 考 文 献

- (1) 早川伸哉、小島弘之、国枝正典、西脇信彦、「放電加工における加工安定性とプラズマ消沈の関係」、精密工学会誌、62,5 (1996) 686
- (2) 国枝正典ら、精密工学会 第363回講習会テキスト「放電加工の基礎から最新技術まで」
- (3) 村上陽太郎ら編、「金属材料学」、pp.34-38、(株)朝倉書店、東京(1994)
- (4) 玉利信幸、近藤功、上野和夫、樋端保夫、「 Si_3N_4 -SiCウイスカー複合セラミックスの放電加工」、産業協会誌、94,12 (1986) 1231

執 筆 者

杉村 和昭*：住友電工スチールワイヤー(株) 開発企画室



岩本 力俊：住友電工スチールワイヤー(株) 開発企画室



泉田 寛：アドバンストマテリアル研究所 グループ長



*主執筆者