



بهینه سازی زبری سطح قطعات تنگستن کاربایدی (WC-10%Co) در فرایند EDM و US/EDM با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد رضا شبگرد^۱، گوهر رنجبری^{۲*}

۱- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی ساخت و تولید دانشگاه تبریز

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد هادیشهر granjbary@yahoo.com

چکیده

هدف این مقاله بهینه سازی زبری سطح^۱ (Ra) قطعه کار تنگستن کاربایدی (WC-10%Co) بر اساس پارامترهای ورودی فرایند EDM (شدت جریان جرقه (I)، زمان روشنی پالس (Ti)) و بدون ارتعاشات التراسونیک ابزار با استفاده از الگوریتم ژنتیک می باشد. در این تحقیق پس از انجام آزمایشات، ابتدا روابط حاکم بر پارامترهای ورودی و خروجی و سپس بهترین مقدار پارامترهای ورودی جهت بدست آوردن کمترین زبری سطح توسط الگوریتم ژنتیک بدست آمده است. ارزیابی نتایج این تحقیق نشان می دهد، الگوریتم ژنتیک، انتخاب دقیق و آسان پارامترهای ورودی را میسر می سازد و بهترین سطوح پارامترهای ورودی را جهت دستیابی به زبری سطح مطلوب در ماشینکاری قطعات تنگستن کاربایدی به روش EDM و US/EDM ارائه میدهد، و بدین طریق به کاهش زبری سطح، زمان و هزینه های ماشینکاری کمک می کند.

واژه های کلیدی: ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM) - الگوریتم ژنتیک (GA) - زبری سطح (Ra)

۱- مقدمه

در چند دهه اخیر جهت ماشینکاری مواد سخت^۲ که ماشینکاری آنها توسط روشهای سنتی مشکل است، فرایند EDM به عنوان مناسب ترین فرایند پیشنهاد و به کار گرفته شده است. تنگستن کارباید (WC-10%Co) ماده ای بسیار سخت (1300-1800 HV) است که در صنایع قالب سازی و ساخت ابزارهای برشی و ابزارهای EDM در مقیاس میکرو و نانو بطور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به اینکه سختی و استحکام قطعات تاثیر چندانی بر روی راندمان باربرداری در فرایند EDM ندارد، محققین زیادی جهت ماشینکاری تنگستن کارباید از فرایند EDM استفاده نموده اند. لی و لی [۱] سلامتی سطح قطعات تنگستن کاربایدی در فرایند EDM را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده اند که یک لایه آسیب دیده آشکار در سطح قطعات تنگستن کاربایدی ماشینکاری شده به روش EDM وجود دارد که بوسیله میکروتورک ها قابل شناسایی است و با افزایش شدت جریان و مدت زمان روشنی پالس، عمق لایه آسیب دیده و طول و عرض میکروتورک ها افزایش می یابد. تحقیقات زیادی در زمینه ترکیب فرایند EDM و USM انجام گرفته است. لین و همکاران [۲] تاثیر متغیرهای ورودی (نوع دی الکتریک، سایز ساینده، غلظت مواد ساینده در دی الکتریک، شدت جریان و زمان روشنی پالس) بر روی نرخ براده برداری، فرسایش نسبی ابزار، زبری سطح و ضخامت لایه منجمد شده (recast) را در ماشینکاری آلیاژ تیتانیوم (Ti-6AL-4V) بررسی

^۱-Surface roughness

^۲-Hard material



کرده اند. نتایج این تحقیق نشان می دهد نرخ براده برداری، صافی سطح و بازده ماشینکاری در فرایند ترکیبی^۱ US/EDM به علت شستشوی بهتر گپ بیشتر از EDM است. قریشی و آتکینسون [۳] به کمک تکنیک رگرسیون به مطالعه^۲ اثر چرخش و ارتعاش ابزار روی ویژگی های رایج ماشینکاری (Ra, TWR, MRR) فولاد AISI101 پرداخته اند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که ارتعاشات کم فرکانس اثر قابل ملاحظه ای روی نرخ براده برداری ندارد و نمی توان اثر معنی داری برای ترکیب ارتعاشات کم فرکانس و چرخش ابزار روی نرخ براده برداری قائل شد. همچنین عبدالله و شبگرد [۴] جهت غلبه بر مشکلات فنی در ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-10%Co) ترکیب فرایند EDM و USM را به عنوان بهترین و مطلوب ترین گزینه از میان روش های متعدد براده برداری پیشنهاد داده اند. پوارتاس و لوئیس [۵] تأثیر شدت جریان، زمان روشنی پالس و زمان خاموشی پالس را بر روی زبری سطح (Ra و Rq) قطعات فولادی نرم (F1110) بررسی کرده و از طراحی آزمایشات (DOE) جهت مدلسازی و بهینه سازی فرایند EDM استفاده نموده اند. ایشان پس از بدست آوردن روابط حاکم بر فرایند، ترکیبات بهینه از پارامترهای ورودی را جهت کاهش زبری سطح (Ra و Rq) با دقت خوبی ارائه داده اند. فنگو و دایانگ [۶] جهت مدلسازی و بهینه سازی ماشینکاری فولاد S136 توسط ابزار مسی در فرایند EDM از الگوریتم ژنتیک استفاده نموده اند. ایشان در این پژوهش ابتدا فرایند EDM را توسط شبکه عصبی از نوع BP مدلسازی نموده و سپس توسط الگوریتم ژنتیک آنرا بهینه سازی کرده اند.

در این مقاله توسط الگوریتم ژنتیک بهترین مقدار زبری سطح بر اساس پارامترهای ورودی (شدت جریان، زمان روشنی پالس و ارتعاش ابزار) در ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-10%Co) با ابزار مسی بدست آمده است. نتایج آزمایش های تجربی که جهت ارزیابی الگوریتم مذکور به کار گرفته شده اند، دقت بالای ۹۰٪ را تأیید می نمایند.

۲- روش تحقیق :

آزمایش ها توسط ماشین اسپارک مدل DECKEL-DE20 CENTER به عمل آمده و زبری سطح قطعات ماشینکاری شده توسط زبری سنج Mahr-pertormether M2 اندازه گیری شده است. جنس ابزار مس خالص فورج شده می باشد. برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه کار و سایر شرایط آزمایش در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. همچنین جهت انجام آزمایشهای مربوط به فرایند US/EDM کله گی آلتراسونیک (B.Braun Labsonic-1000L) به سر دستگاه اسپارک توسط فیکسچر مخصوص نصب گردیده است. تعداد آزمایشهای بعمل آمده در هر کدام از فرایندهای EDM و US/EDM، ۲۵ عدد می باشد که بصورت فول فاکتوریل^۲ انجام شده است.

۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در حقیقت روش جستجوی کامپیوتری بر پایه الگوریتم بهینه سازی و بر اساس ساختار ژن ها و کروموزوم هاست. برای استفاده از الگوریتم ژنتیک باید سه مفهوم مهم زیر مشخص شود:

۱. تعریف تابع هدف یا تابع هزینه
۲. تعریف و پیاده سازی فضای ژنتیک
۳. تعریف و پیاده سازی عملگرهای الگوریتم ژنتیک

1-Ultrasonic assisted EDM

2-Full-factorial



جدول ۲- متغیرهای فرایند و شرایط آزمایش

Open circuit voltage (V)	120
Gap average voltage (V)	40
Work piece shape (mm)	Ø10 dia. & 6.5 thickness
Tool diameter (mm)	Ø24
Tool polarity	Positive
Dielectric	Kerosene 85% transformeroil15%
Pulse-on times (µs)	1, 5, 10, 20 and 30
Pulse-off time (µs)	10
Pulse currents (Amp.)	11, 18, 25, 32 and 39
Type of flushing	Normal submerged
Max.Amplitude of Ultrasonic vibration	5µm(Approx)

جدول ۱- مشخصات قطعه کار تنگستن کاربایدی (WC-10%Co)

Nominal composition (by weight)	90% wc- 10%co
Grain size	Fine
ISO range	K15-k30
Hardness (HV)	1300- 1800
Density (Kg/m ³)	14600
Transverse strength(MPa)	3100
Compressive strength (MPa)	5170
Modulus of elasticity (GPa)	620

۴- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

۴-۱- اندازه جمعیت

الگوریتم ژنتیک با یک گروه از کروموزوم ها به عنوان جمعیت اولیه شروع می شود. این جمعیت به تعداد N_{pop} کروموزوم دارد و یک ماتریس $N_{pop} \times N_{bits}$ به صورت تصادفی از اعداد صفر و یک توسط دستورات برنامه تولید می شود. هر ردیف در ماتریس جمعیت یک کروموزوم است و از ژن ها که در واقع ورودی های مسئله بهینه سازی (I,Ti) هستند، تشکیل می شود و N_{bits} تعداد کل بیت های موجود در کروموزوم است. پس از این مرحله مقادیر متغیرها در تابع هدف یا هزینه جایگذاری می شود. این تابع به صورت جداگانه در یک زیر برنامه نوشته می شود.

انتخاب اندازه جمعیت بزرگتر، باعث می شود که الگوریتم فضای ژنتیک بزرگتری را پوشش دهد و به موجب آن شانس پیدا کردن مینیمم مطلق افزایش یابد. در عوض اندازه جمعیت بزرگتر سبب کند شدن اجرا و افزایش زمان حل میگردد. لذا انتخاب اندازه جمعیتی که هم فضای جستجو را خوب پوشش دهد و هم الگوریتم دارای سرعت قابل قبولی باشد بسیار مهم است. در این پژوهش تعداد جمعیت ۱۶ عدد انتخاب شده است و تعداد پارامترهای ورودی (N_{par})، دو عدد انتخاب گردیده است. برای هر پارامتر ورودی نیز در هر کروموزوم ۸ بیت در نظر گرفته شده است.

۴-۲- تابع هدف

پس از انتخاب تصادفی جمعیت اولیه ابتدا باید روابط ریاضی حاکم بر متغیرهای ورودی و خروجی مشخص گردد، سپس جمعیت اولیه در این توابع جایگذاری شود. در این پژوهش ابتدا بر اساس نتایج آزمایش های انجام یافته روابط ریاضی حاکم بر زبری سطح، براساس شدت جریان جرقه و زمان روشنی پالس، توسط برنامه نرم افزاری نوشته شده تعیین گردید سپس بر اساس شرایط مسئله، جمعیت اولیه در این روابط جایگذاری شد و مقدار برازندگی یا هزینه آنها به دست آمد.

۴-۳- انتخاب

در این مرحله ابتدا کروموزوم ها از کمترین تا بیشترین هزینه رتبه بندی شده، سپس بهترین کروموزومها انتخاب می گردند. نرخ انتخاب (X_{rate}) کسری از جمعیت است که برای مرحله بعدی زنده می مانند. تعداد کروموزومهایی که در هر نسل زنده می مانند با علامت N_{keep} نشان داده می شود که با فرمول (۱) محاسبه می گردد [۶].



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

$$X_{rate} \times N_{pop} = N_{keep}$$

(۱)

مقدار X_{rate} اختیاری است و معمولاً مقدار آن ۰/۵ انتخاب می شود.

۴-۴- ادغام

پس از عمل انتخاب دو والد با روش ادغام ترکیب می شوند. به عبارت دیگر پس از یک بیت تصادفی، جای بقیه بیت ها در دو کروموزوم والد عوض می شود.

۴-۵- جهش

در عمل جهش بیت های انتخابی از صفر به یک و بالعکس تغییر می یابند. برای عمل جهش لازم است نرخ جهش (μ) تعریف شود که در این مقاله برابر ۰/۱۵ تعریف شده است. تعداد بیت هایی که جهش می یابند از فرمول (۲) محاسبه میشود.

$$\mu \times (N_{pop} - 1) \times N_{bits} = \text{تعداد بیت های جهش یافته} \quad (۲)$$

که در آن μ نرخ جهش، N_{pop} تعداد جمعیت های اولیه و N_{bits} تعداد بیت های موجود در هر کروموزوم می باشد. بعد از عمل جهش یک مرحله از الگوریتم ژنتیک پایان می یابد.

۵- الگوریتم برنامه نرم افزاری تهیه شده

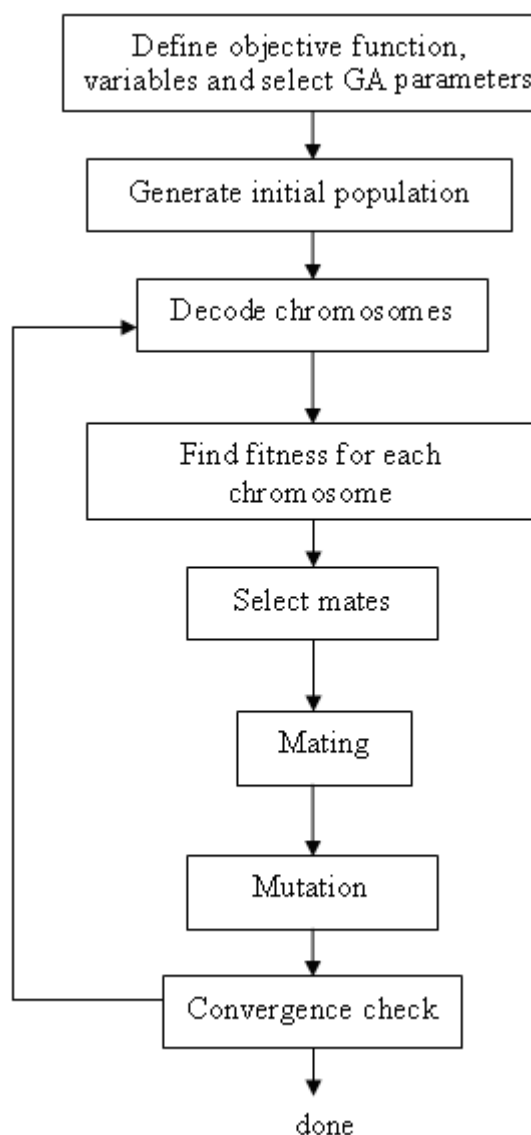
در این تحقیق برنامه الگوریتم ژنتیک به زبان Matlab نوشته شده است. به این ترتیب که ابتدا برنامه اصلی (که شامل کلیه اعمال مذکور در قسمت های قبلی است) نوشته شده سپس در دو زیر برنامه دیگر دستورات مربوط به کد کردن مقادیر ورودی و توابع هدف نوشته شده است. الگوریتم برنامه تهیه شده مطابق شکل ۱ می باشد.

۶- بحث و بررسی

همانگونه که قبلاً بیان شد در این مقاله از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی فرایندهای EDM و US/EDM استفاده شده است. شدت جریان (I) و زمان روشنی پالس (Ti) به عنوان پارامترهای ورودی و زبری سطح (Ra) به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته شده است و هدف از بهینه سازی ارائه بهترین سطوح پارامترهای ورودی (شدت جریان و زمان روشنی پالس) برای رسیدن به کمترین زبری سطح می باشد. بدین ترتیب که دو حالت رایج برای مطلوب ترین مقادیر پارامتر خروجی در نظر گرفته شده است. در ادامه هر یک از این حالت ها به تفصیل شرح داده خواهد شد.

۶-۱ حالت اول ($Ra \leq 1\mu m$)

در این حالت بر اساس زبری سطح $Ra \leq 1\mu m$ سطوح بهینه شدت جریان و زمان روشنی پالس بدست آمده است. بعد از اجرای تمامی مراحل مذکور برای فرایندهای EDM و US/EDM نتایج در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱- الگوریتم برنامه

با توجه به شکل ۲ در فرایند EDM با ۱۶ عدد کروموزوم و نرخ جهش $\mu=0/15$ و نرخ انتخاب برابر با $0/5$ ، بعد از ۵۰ نسل می توان بهترین هزینه و متوسط هزینه هر کدام از جمعیت ها را در هر نسل مشاهده کرد. با توجه به این شکل در نسل دهم هزینه ها به کمترین مقدار خود رسیده و بعد از آن ثابت می ماند. بهترین ترکیب برای شدت جریان، ۱۱ آمپر و برای زمان روشنی پالس $10 \mu S$ ارائه گردیده است. در فرایند US/EDM با توجه به شکل ۳ در نسل ششم هزینه ها به کمترین مقدار خود رسیده و بعد از آن ثابت می ماند. در این مرحله بهترین ترکیب برای رسیدن به زبری سطح تعیین شده، شدت جریان، ۱۱ آمپر و زمان روشنی پالس $5 \mu S$ می باشد.



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

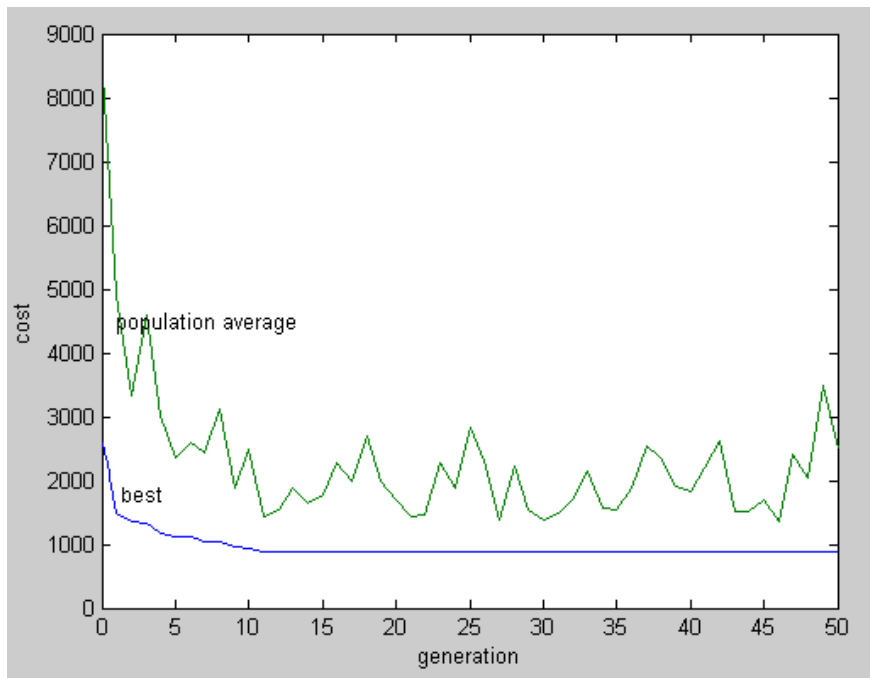
ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

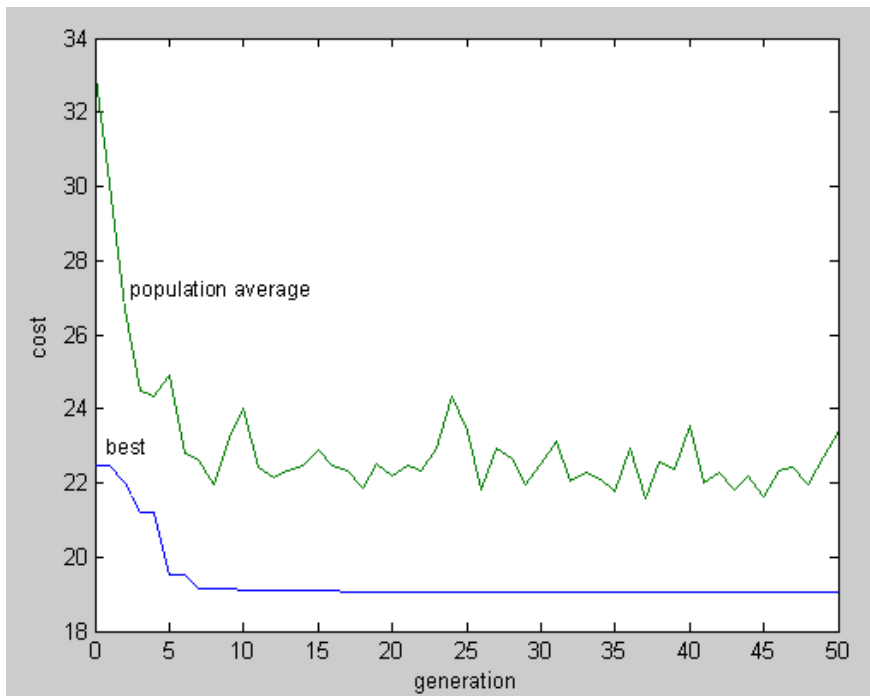
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



شکل ۲- نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت اول

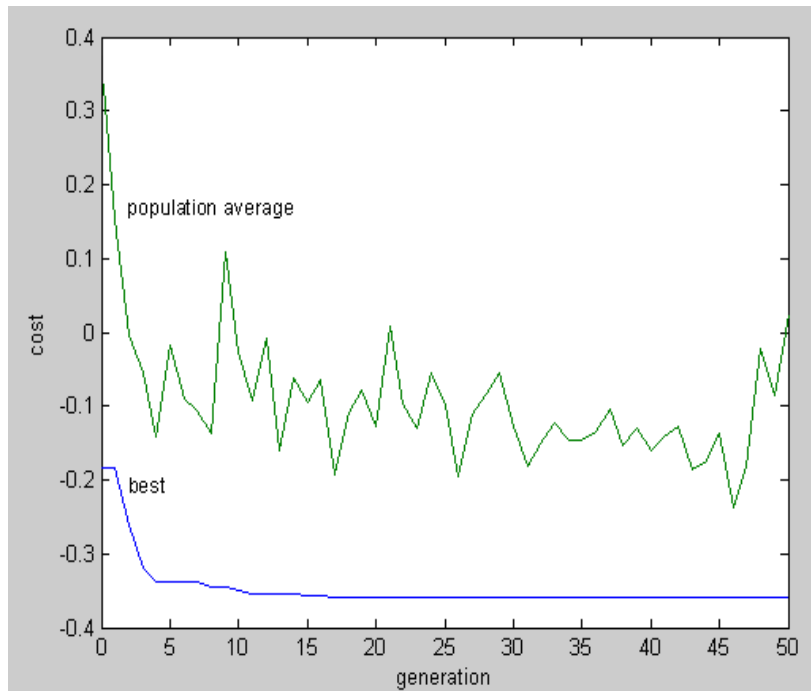


شکل ۳- نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت اول

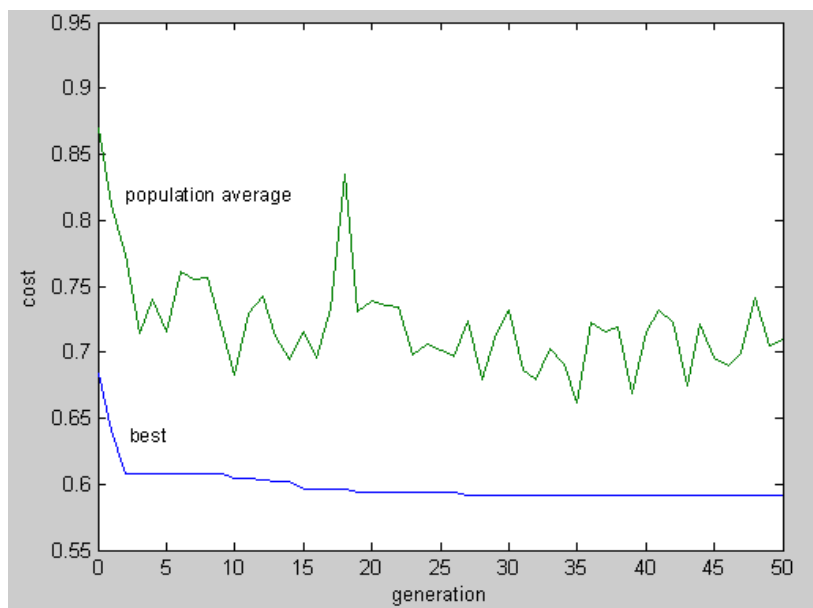


۲-۶ حالت دوم: (Ra: min)

در این حالت سطوح بهینه شدت جریان و زمان روشنی پالس جهت به دست آوردن کمترین زبری سطح به دست آمده است. بعد از اجرای تمامی مراحل مذکور برای فرایندهای EDM و US/EDM نتایج در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴- نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت دوم



شکل ۵- نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت دوم



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

با توجه به شکل ۴ در نسل هفدهم هزینه ها به کمترین مقدار خود رسیده و بعد از آن ثابت می ماند. بهترین ترکیب برای شدت جریان، ۱۱ آمپر و برای زمان روشنی پالس $20/294 \mu s$ ارائه گردیده است. در فرایند US/EDM با ۱۶ عدد کروموزوم و نرخ جهش $15/0 \mu$ و نرخ انتخاب برابر با $0/5$ ، در نسل بیست و ششم هزینه ها به کمترین مقدار خود رسیده و بعد از آن ثابت می ماند. در این فرایند بهترین ترکیب برای شدت جریان، ۱۱ آمپر و برای زمان روشنی پالس $20 \mu s$ حاصل شده است.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی زبری سطح در فرایندهای EDM و US/EDM معرفی شده است. نتایج آزمایش های تجربی که جهت ارزیابی الگوریتم مذکور به کار گرفته شده اند، دقت بالای ۹۰٪ را تأیید می نمایند.

نتایج بدست آمده نشان می دهند در ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-10%Co) :

۱- به کار گیری روش های بهینه سازی در فرایندهای ساخت موجب کاهش زمان ساخت و افزایش سودآوری خواهند شد.

۲- نتایج بدست آمده از اجرای برنامه تهیه شده نشان می دهند، اگر دقت توابع برازندگی بالا بوده و پارامترهای اولیه به درستی انتخاب شوند، الگوریتم در نسل های پایین تر به جواب همگرا میشود.

۳- از میان روش های ادغام و انتخاب، به ترتیب روش های تک نقطه ای و رتبه بندی بهترین نتایج را ارائه می دهند.

۴- نتایج کمی حاصل از بهینه سازی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج کمی بهینه سازی

شرایط	فرایند	I(A)	Ti(μm)
$R_a \leq 1 \mu m$	EDM	11	10
	US/EDM	11	5
Ra: min	EDM	11	20.294
	US/EDM	11	20

مراجع:

- Lee, S., and Li, X., "study of the surface integrity of the machined workpiece in the EDM of tungsten carbide" "Journal of material processing Technology", No. 139, pp. 315-321, 2003.
- Lin, Y. Ch., and Yan, B. H., and Chang, Y. S., "Machining characteristics of titanium alloy (Ti-6Al-4V) using a combination process of EDM with USM", "Journal of material processing Technology", No. 104, pp. 171-177, 2000.
- Ghoreishi, M., and Atkinson, J., "A comparative experimental study of machining characteristics in vibratory, rotart and vibro-rotary electro-discharge machining", "Journal of material processing Technology", No. 120, pp. 374-384, 2002.
- Abdollah, A., and shabgard, M. R., "effect of ultrasonic vibration of tool on Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide (WC-Co)", Proc of 1st conf. TICME, Tehran, pp. 1-16, 2005
- Puertas, I. and Luis, C. J., 2003, A study on the machining parameters optimization of electrical discharge machining, J. Mater. Process. Technol., 143-144: 521-526
- Fenggou, C. and Dayong, Y., 2004, The study of high efficiency and intelligent optimization study in EDM sinking process, J. Mater. Process. Technol., 149: 83-87.
- Haupt, R. L. and Haupt, S. E., Practical Genetic Algorithms. John WILEY & Sons Inc, 2004.