

## انواع تکنولوژیها و روش های جدید بافت دار کردن ورق های فولادی و مدلسازی یک سیستم هوشمند برای بافت دار کردن سطح ورقها به روش تخلیه الکتریکی

مرتضی صادق عمل نیک<sup>۱\*</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵	در این مقاله ابتدا انواع روش های بافت دار کردن ورق ها مورد بررسی قرار گرفته و با هم مقایسه می شوند. این روشها شامل شات بلاست، پرتو لیزر، پرتو الکترونی، پرتو یونی و تخلیه الکتریکی می باشد و هریک به اختصار توضیح داده می شود. سپس یک سیستم هوشمند برای بافت دار کردن ورقهای فولادی به روش تخلیه الکتریکی با استفاده از نرم افزار نکسپرت مدلسازی و طراحی شده است. سیستم هوشمند با سیستم طراحی به کمک کامپیوتر و پایگاه های اطلاعاتی مختلفی مرتبط است. سیستم هوشمند طراحی شده قادر است با استفاده از پایگاه های اطلاعاتی و سیستم طراحی به کمک کامپیوتر، قابلیت بافت دار کردن ورقهای رول شده را بررسی و صافی سطح و تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع، نرخ تولید و زمان و هزینه آنها را برآورد نماید. برای ارزیابی صحت سیستم هوشمند، نتایج آن با نتایج سیستم تجربی مقایسه می شود. این مقایسه نشان می دهد برآورد سیستم هوشمند بعلاوه انتخاب بهینه پارامترهای ماشین کاری ۱۰ درصد بهتر از نتایج سیستم تجربی است. سیستم هوشمند با انتخاب بهتر متغیر های ماشین کاری، موجب بهبود کیفیت بافت دار کردن ورق ها شده و صافی سطح و تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع را تا ۱۰ درصد نسبت به خروجی های سیستم تجربی بهبود دهد. همچنین زمان و هزینه بافت دار کردن را ۱۰ درصد نسبت به تجربی کاهش دهد. اطلاعات مناسبی در اختیار مهندس ساخت قرار می دهد تا بتواند متغیر های دستگاه را بطور بهینه انتخاب نماید.
<b>واژگان کلیدی:</b> سیستم هوشمند، بافت دار کردن ورق، پرتو لیزر، پرتو یونی، پرتو الکترونی، تخلیه الکتریکی.	

### ۱-مقدمه

نمایند. به همین دلیل انواع روش های بافت دار کردن ورق- های فولادی توسعه داده شده است. امروزه از ورق های فولادی بافت دار شده بطور تصاعدی در صنایع خودروسازی استفاده می شود. بافت دار کردن ورق های فولادی موجب می شود تا مانند ماسکی روی ورق های فولادی، آنها را از خط و خش هنگام حمل و نقل و جابجایی محافظت نماید [۲]. بافت دار کردن ورقها نقش اساسی در فرایندهای فرم پذیری، و رنگ پذیری و ظاهر مناسب مناسب قطعه تولید شده دارد. همچنین موجب می شود تا در عملیات

یکی از کاربردهای مهم بافت دار کردن ورق های فولادی در ساخت بدنه خودرو می باشد. قابلیت شکل پذیری و ظاهر بدنه خودرو از اهمیت بالایی در صنایع خودروسازی برخوردار است. امروزه تلاش می شود تا وزن خودروها سبکتر، اقتصادی تر، محکم تر و هزینه ساخت آنها ارزانتر و کم آلاینده تر باشد [۱]. از طرف دیگر صنایع فولاد و تولید کننده های ماشین ابزار تکنولوژیهای خود را در این زمینه ها توسعه داده اند تا بتوانند نیاز های بازار و صنعت را تأمین

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: sadeghamalnik@yahoo.com

۱. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه قم

خودرو را، قبل از انجام پرسکاری و رنگ کاری، با دقت بالا بافت دار یا بافت دار می کنند [۸]. صافی سطح مورد نیاز بستگی به تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع دارد. بنابراین امکان ایجاد سطوح پیچیده بر روی سطح ورق وجود دارد و از نظر تئوری اجازه می دهد تا برای هر فرایندی بهترین ورق های فولادی از نظر صافی سطح و تعداد حفره ها در هر سانتی متر مربع انتخاب شود [۹] [۱۰] [۱۱]. امروزه پنج روش برای بافت دار کردن سطوح ورق وجود دارد که عبارتند از: بافت دار کردن سطوح بوسیله شات بلاست، پرتو های لیزر<sup>۴</sup>، پرتو های یونی<sup>۵</sup>، پرتو های الکترونی<sup>۶</sup>، و تخلیه الکتریکی<sup>۷</sup>، [۱۲]. در شکل (۱) نمونه هایی از ورق بافت دار شده به روش های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱- انواع روشهای بافت دار کردن ورقها [۱۳]

## ۲- انواع روشهای جدید بافت دار کردن ورق ها

بطور کلی برای بافت دار کردن ورق رول پنج روش زیر وجود دارد.

### ۲-۱- بافت دار کردن سنتی به روش شات بلاست

بطور سنتی عملیات بافت دار کردن سطح ورقها توسط روش پرتاب ساچمه انجام می شود. این روش یک روش ارزان می باشد که در آن مواد دارای لبه تیز توسط یک چرخ سانتری فیوژ به سمت ورق رول پرتاب می شوند. دانه های ساچمه به هنگام برخورد با سطح ورق رول باعث تغییر فرم پلاستیکی می شوند و ذراتی را در نتیجه برخورد با سطح رول، از سطح ورق جدا می کنند. در فرایند شات

روغن کاری ورقها برای عملیات پرسکاری، طول عمر قالب افزایش یابد [۳]. در روش های سنتی بافت دار کردن، بر روی صفحات فلزی توسط تکنیک شات بلاست انجام می شود. هزینه این فرایند کم می باشد. ساچمه سخت با سرعت بالا بر سطح ورق رول شده برخورد می کند و سطح ورق را زبر می کند [۴]. در این فرایند ضروریست تا از قطعات حساس ماشین محافظت شود. همچنین سختی ساچمه ها بایستی سخت تر از سختی ورق رول شده باشد. محدودیت های تکنیک شات بلاست عبارت است از مشکل بودن کنترل و دقت پرتاب ساچمه به سطح مورد نظر می باشد. محدودیت های دیگر آن، متغیرهایی مانند شکل و اندازه و سرعت و زاویه پرتاب ساچمه، سختی ساچمه و ورق رول است. همچنین متغیر بودن سطوح بافت دار شده، تعداد نقاط بافت دار شده در واحد سطح، ایجاد آلودگی محیطی اطراف دستگاه شات بلاست و امکان پذیر نبودن تکسچر کردن<sup>۱</sup> ورق هایی که سختی آن بیشتر از سختی ساچمه می باشد [۵]. برای فایق آمدن بر محدودیت های شات بلاست<sup>۲</sup>، تکنیک های جدیدی با محاسن زیر معرفی شده است. الف: طراح می تواند دقت بافت دار کردن ورقها را در ابتدای طراحی مشخص نماید. ب: سختی سطح ورق تأثیری در بافت دار کردن ورق ندارد. در نظر گرفتن کلیه عوامل موثر در بافت دار کردن ورقها در فرایند طراحی، و ساخت امکان پذیر است. همچنین می توان زمان، هزینه، و کیفیت بافت دار کردن ورقها را برآورد نمود. در کارخانجات اتومبیل سازی نیاز به ورق های با کیفیت بالا و بافت دار شده در مقیاس میکرومتر  $\mu\text{m}$  می باشد. کارخانجات تولید کننده ورق این ویژگی ها را به خوبی می شناسند و تلاش می کنند تا این نیاز را برای کارخانجات اتومبیل سازی تامین نمایند. بعنوان مثال کارخانه فورد نیاز به ورق هایی دارد که صافی سطح در دو طرف ورق در طیف  $1\text{m}$  تا  $1\mu\text{m}$  و  $7\text{m}$  تا  $1\mu\text{m}$  میکرومتر باشد و تعداد قله ها در هر سانتی متر مربع از ۵۰ بیشتر باشد [۶]. معدل صافی سطح را با  $R_a$  نشان می دهند. هر بافت از یک سری فرورفتگی و یک سری برآمدگی تشکیل شده که تعداد آنها در یک سانتی متر مربع<sup>۳</sup> میزان بافت سطح را مشخص می کند و آن را  $\text{peak count}$  می نامند [۷]. برای رسیدن به صافی سطح دلخواه ورق های بدنه

<sup>5</sup> Ion beam (IB)

<sup>6</sup> Electron beam (EB)

<sup>7</sup> Electrical discharge (ED)

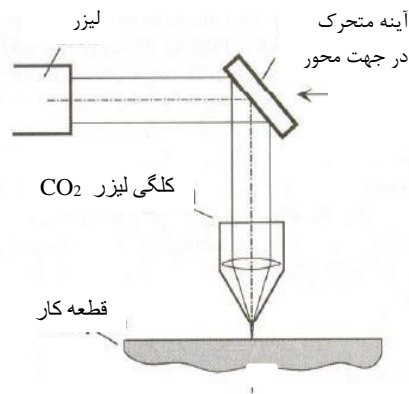
<sup>1</sup> Texturing

<sup>2</sup> Shot blast (SB)

<sup>3</sup> Peak count (PC)

<sup>4</sup> Laser beam (LB)

ها را می توان از طریق تنظیم انرژی و زمان پرتو کنترل نمود. همچنین فضای مابین حفره ها به وسیله سرعت پیشروی و تعداد پالسها کنترل می شود. روش لیزری یک فرایند منظمی است که موجب بافت دار کردن دقیق سطح ورق می شود. در شکل (۲) یک نمونه از فرایند بافت دار کردن به روش لیزر CO<sub>2</sub> نشان داده شده است.



شکل ۲- بافت دار کردن به روش پرتو لیزر CO<sub>2</sub> [۱۶]

بافت دار کردن به روش اشعه لیزر را می توان بوسیله نرم افزار طراحی CAD هدایت کرد [۱۷]. پژوهشگران پرتو لیزر را با پهنای باند مختلف مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گیری نمودند که پالس های کوتاه تر موجب کیفیت بهتر می شود اما هزینه بافت دار کردن را افزایش می دهد [۱۸]. اطلاعات بیشتر در [۱۹] و [۲۰]. اگر شدت پرتو لیزر را با I<sub>0</sub> نشان داده شود کاهش شدت پرتو لیزر در عمق I<sub>x</sub> برابر است با

$$I_x = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

که  $\alpha$  قابلیت جذب نور مواد ورق مورد استفاده و  $x$  عمق پرتو در ورق مورد استفاده است. نرخ پیشروی برای جذب حداکثر انرژی برابر است با  $\delta$ :

$$\delta (\delta = 2/\alpha) \quad (2)$$

عمق انتشار پرتو لیزر برابر است با  $d$ :

$$d = \sqrt{4\alpha t} \quad (3)$$

که  $a$  قابلیت انتشار گرمایی و  $t$  زمان انتشار است.

### ۲-۳- بافت دار کردن به روش پرتو یونی

ماشین کاری به روش پرتو یونی روشی انعطاف پذیر برای ساخت قطعات سه بعدی است [۲۱]. از این فرایند می توان برای باربرداری و ماشین کاری و بافت دار یا بافت دار کردن سطوح استفاده نمود [۲۲]. با توجه به اینکه در این فرایند قطر پرتو خیلی کوچک است، به همین دلیل دقت آن تا

بلاست، ساچمه سخت به سطح ورق با چگالی بالا برخورد کرده که این برخورد منجر به ناصافی و بافت دار کردن سطح ورق می شود. صافی سطح ورق رول بستگی به سرعت چرخ سانتی فیوژ، جنس ساچمه، مقدار سختی ورق رول، سرعت پرتاب ساچمه ها دارد. روش شات بلاست یک روش ارزان است اما قابلیت تکرار کمی دارد. همچنین کنترل دقت سطح رول به دلیل تغییرات زیاد متغیرهای عملیات مانند تغییرات اندازه و شکل ساچمه، چگالی و سختی ساچمه مشکل است. بنابراین کنترل پارامترهای بافت دار کردن این روش مشکل است. همچنین دارای سر و صدای زیاد است. علاوه بر آن نواحی حساس دستگاه مانند رول برینگ ها بایستی از سایش محافظت شوند، که در این روش این امر امکان پذیر نیست. محدودیت دیگر فرایند شات بلاست سختی ورق های رول است، زیرا بیشتر تمایل به استفاده از ورق رولهای با سختی بیشتر به منظور کاهش میزان سایش حاصله در عملیات نورد است تا بتواند منجر به تغییر شکل پلاستیکی در سطح رول شود. در نتیجه محدودیتی برای سختی ساچمه وجود دارد. همچنین مشکلات محیطی از قبیل گرد و غبار و صدا موقع استفاده از روش شات بلاست وجود دارد.

### ۲-۲- بافت دار کردن به روش پرتو لیزری

در بین فرایندهای لیزری بافت دار کردن ورق های رول، لیزر CO<sub>2</sub> و لیزر ND:YAG کاربرد بیشتری در صنعت دارند. وقتی چگالی انرژی بالایی در نقطه کانونی عدسی در یک سطح کوچکی از قطعه متمرکز می شود، سطح کوچکی از قطعه را ذوب و تبخیر می کند [۱۴]. در این صورت می توان به آسانی بکمک فشار یک گاز کمکی سطح قطعه را بافت دار یا بافت دار نمود [۱۵]. این روش به روش بافت دار کردن لیزری معروف است. در این فرایند پرتوی لیزر، روی سطح ورق رول متمرکز می گردد، و در نتیجه سطح کوچکی از ورق را ذوب و تبخیر می کند. ماده مذاب بر اثر فشار پلاسما و یک گاز نجیب به سمت بیرون پرتاب می شود. ورق رول شده در جهت عقربه های ساعت حول محور خود به آرامی دوران می کند. بافت سطح ورق متناسب با اثر قدرت اشعه لیزری، حرکت محوری، سرعت ورق رول، سرعت چرخ قطاع و گاز نجیب تغییر کند. چگالی با انرژی بالای پرتوهای لیزر منجر به ذوب موضعی رول می شود که این عمل همراه با یک جت گاز منجر به تشکیل حفره روی قطعه و بافتدار کردن آن می شود. عمق و اندازه قطر حفره

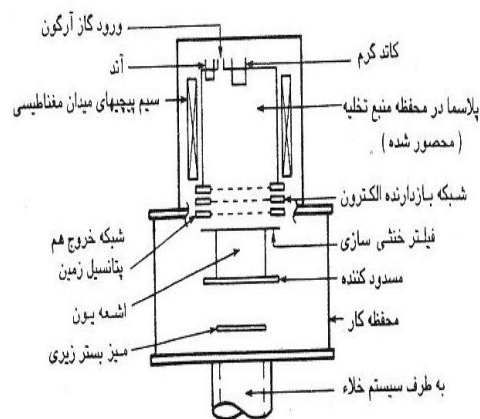
ساخت سنسورها و پروب ها در مقیاس اتم به آسانی قابل ساخت و ماشین کاری بوسیله تکنیک فرزکاری است [۳۲]. در کاربرد های گسترده دیگر از این تکنیک استفاده می شود [۳۳]. وقتی یون های دارای انرژی با سطح هدف برخورد می کند یون های مختلف در برخورد با اتم های سطح قطعه موجب فرو رفتن و ذخیره و یا جدا کردن اتم ها از سطح قطعه می شوند [۳۴]. برخورد یون ها با اتم ها موجب باربرداری و جدا کردن اتم ها از سطح قطعه یا ورق می شوند. عناصر اصلی سیستم ماشین پرتو یونی طبیعتا منبع یونی، ستون نوری، متمرکز کننده پرتو و لنز های بالایی و پایینی می باشد. پس از خارج شدن یونها از منبع، آنها در یک منطقه بدون میدان به سمت قطعه یا بستر زیری که باید بافت دار شود رانده می شود. اغلب قطعه یا ورق به یک میز که با آب خنک می شود و قابلیت چرخش ۰-۹۰ درجه را دارد نصب می شود. قطعه یا ورق از پلازما جدا است. هرکدام از متغیرهای ماشینکاری مثل شتاب، شار و زاویه برخورد را میتوان بصورت مستقل کنترل کرد. جریان I مربوط به خروج یون را میتوان از قانون چایلد به صورت زیر محاسبه کرد.

$$I = \frac{\pi \epsilon}{q} V^{\frac{3}{2}} \left(\frac{2q}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{d}{l}\right)^2 \quad (4)$$

که در آن  $\epsilon$  ثابت دی الکتریک،  $V$  اختلاف پتانسیل بین شبکه ها،  $q$  و  $m$  به ترتیب بار و جرم یون،  $d$  قطر روزنه شبکه و  $L$  جدایش موثر شبکه است. از معادله ی بالا نتیجه میشود که بیشترین جریان با کمترین فاصله بین شبکه ها و برای شبکه هایی که بیشترین سوراخ با کمترین اندازه را دارند به دست می آید. در صورتی که قطعه کار آلومین باشد، اشعه آرگون به آن برخورد می کند. برای تراشیدن سطح قطعه آلومین، منبع یونی که در آن اشعه یون آرگون  $Ar^+$  به قطر ۲۵ میلی متر و با جریان ۱۱۰ میلی آمپر به یک قطعه از جنس آلومین برخورد می کند. سطوحی که به نگهدارنده چرخانی که با آب خنک می شود نصب هستند که با آلومین پودر شده پوشش می شوند. منبع در فاصله ۱۵ سانتی متر قرار دارد. برای تراشیدن سطح قطعه آلومین، یونها ی اکسیژن با انرژی 500eV و جریان 0.5A تولید میکند.

در عملیات معمولی پرتو یونی روی جسمی به مساحت یک سانتی متر مربع با یک اشعه یونی با جریان  $\mu A$  ۱۰۰ عمق تقریبی  $10^{-4}$  میلی متر برداشته می شود. با

کسری از میکرون قابل حصول است [۲۳]. روش پرتویونی روشی موثر برای ساخت طیف وسیعی از ساخت قطعات ظریف است. همچنین کاربرد آن در ساخت قطعات سه بعدی کربن شیشه با استفاده از تنظیم زمان است [۲۴]. ماشین کاری با اشعه یونی در یک محفظه خلاء و با اتمهای باردار (یون) که توسط ولتاژ شتاب دهنده از یک منبع یون به طرف هدف (قطعه کار) شلیک میشود، انجام می شود. امروزه تکنولوژی ماشین کاری با پرتو یونی یک ابزار مهم در ساخت نیمه هادی هاست. ابزار ارزشمندی است که در کار طراحی و ترمیم سطحی [۲۵] سطح و کمک به اچ کردن سطوح قطعات [۲۶] استفاده می شود. اهمیت بکار گیری پرتوهای یونی برای ماشین کاری قطعات مدارات مجتمع IC با مشخصات خواسته شده در نقاط مختلف با دقت مقیاس میکرونی وجود دارد [۲۷]. در این فرایند وقتی یون های دارای انرژی با سطح هدف برخورد می کند یون های مختلف در برخورد با اتم های سطح ورق موجب فرو رفتن و ذخیره و یا جدا کردن اتم ها از سطح ورق می شوند [۲۸]. برخورد یون ها با اتم های سطح ورق موجب جدا شدن اتم ها از سطح ورق می شود. عناصر اصلی فرایند ماشین کاری پرتو یونی شامل منبع یون، ستون نوری، متمرکز کننده پرتو و لنز های بالایی و پایینی می باشد. از فلز مذاب به عنوان منبع برای ایجاد یون های قابل اطمینان بطور گسترده ای استفاده می شود [۲۹]. از این فرایند در مقیاس میکرو و نانو استفاده می شود. دقت بافت دار کردن و ماشین کاری با پرتوی یونی چنان بالاست که ساخت ابزارهایی در مقیاس میکرو و نانو امکان پذیر می باشد [۳۰]. در شکل ۳ ماشین اشعه یونی نشان داده شده است.



شکل ۳- مکانیزم ماشین کاری با اشعه یونی [۳۱]

نوع ورق های سوراخکاری شده از جنس کربن یا مولیبدن ساخته می شوند. این مواد در مقابل خوردگی حاصل از بمباران یونی مقاوم هستند. سوراخ های ورق ها روی یکدیگر تراز شده اند. در طراحی سیستم های منبع یون، برای ایجاد بهترین شرایط جریان یونی و خوردگی شبکه، شکل سوراخ-ها و فاصله شبکه عوامل بسیار مهمی هستند. اغلب شبکه خارجی هم پتانسیل زمین نسبت به آند منفی تر است. بنابراین این شبکه میدان منفی لازم برای خارج کردن یونها از پلاسما را ایجاد می کند. شبکه دوم نسبت به زمین در سطح پتانسیل منفی حفظ می شود. به این ترتیب، مشابه حالت پخش برگشتی آنها از محفظه ی کار، از فرار الکترونها از پلاسما جلوگیری می شود.

ج-میز نگهدارنده قطعه: پس از خارج شدن یونها از منبع، آنها در یک منطقه بدون میدان به سمت ورق که باید بافت دار شود رانده می شود. همانطور که در شکل ۱ مشخص است اغلب ورق یا قطعه به یک میز که با آب خنک کاری می گردد و قابلیت چرخش ۰-۹۰ درجه را دارد نصب می شود. ورق یا قطعه از پلاسما جدا است. هر کدام از متغیرهای ماشین کاری مثل شتاب، شار و زاویه برخورد را میتوان بصورت مستقل کنترل کرد.

#### ۲-۴-بافت دار کردن توسط پرتوی الکترونی

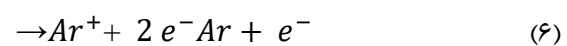
فرایند ماشین کاری با پرتو الکترونی از دهه ی ۱۹۶۰ در صنایع مختلف بکار گرفته شد. ماشین کاری با پرتو الکترونی یک فرایند حرارتی است که از آن در عملیات ماشین کاری و بافتدار کردن سطوح ورق استفاده می شود. در این فرایند از انرژی الکتریکی برای ایجاد الکترونها با انرژی بالا استفاده می شود [۳۵]. پرتوهای الکترونی در تفنگ الکترونی ایجاد می شوند. تفنگ الکترونی وسیله ای است که الکترونها با سرعت زیاد در یک نقطه کوچک ایجاد می کند [۳۶]. این فرایند بایستی در خلاء انجام شود، در غیر این صورت الکترونها با برخورد با مولکولهای هوا، انرژی خود را از دست می دهند و در نتیجه انرژی لازم را برای برش کاری و یا بافتدار کردن سطح ورق یا قطعه از دست می دهند [۳۷]. انرژی جنبشی با سرعت بالا در هنگام برخورد با ورق فلزی رول تبدیل به انرژی گرمایی می شود [۳۸]. پرتوهای الکترونی با قدرت چگالی بالا در هنگام برخورد با قسمت کوچکی از سطح ورق آنرا ذوب و تبخیر می کند [۳۹]. در تفنگ الکترونی، از پرتوهای الکترونی،

نرخ براده برداری یک اتم برای هر یون برخوردی، در این سطح  $1\mu\text{mhr}^{-1}$  ماده ماشینکاری می شود یعنی ۳ اتم در ثانیه یا یک تک لایه اتمی برثانیه برسانتی متر مربع. سرعت براده برداری را می توان با افزایش شار اشعه یا با یون هایی با انرژی بیشتر، اگرچه شرایط انرژی کمتر بهتر است، زیاد کرد. در عملی ترین حالت پرتو یونی را می توان یک عملیات ترتیبی فرض کرد که هر یون برخورد کننده به جسم یک اتم را خارج می کند. رابطه سرعت اچ کردن برحسب تسلیم توسط سومخ (۱۹۷۶) ارائه شده است. او ثابت می کند که تسلیم به جنس جسمی که اچ می شود، نوع اتم ها و انرژی آن ها، زاویه برخورد و در بعضی موارد به فشار گاز بستگی دارد. سومخ در سال ۱۳۷۶ رابطه سرعت اچ کردن  $V(\theta)$  با تسلیم  $S$  را به صورت زیر ارائه می کند:

$$V(\theta) = 9.6 \times 10^{25} \frac{S(\theta)}{n} \cos\theta \left( \frac{\text{atoms min}^{-1}}{\text{mA cm}^{-2}} \right) \quad (5)$$

ماشین پرتو یونی از سه قسمت اصلی تشکیل می شود:  
الف- یک منبع پلاسما که یون تولید می کند. ب- شبکه های خارج کننده یون ها از پلاسما و شتاب دادن آنها به سمت بستر زیری، ج- میز نگهدارنده ورق.

الف-منبع یون: برای اینکه با برخورد یون یا اتم ها بتوان یک اتم را از سطح قطعه جدا نمود، باید یک منبع یون با توان تولید پرتو قوی و انتشار انرژی قابل قبول وجود داشته باشد. منبع پلاسما: یک فیلمان گرم، اغلب از جنس تنگستن، به عنوان کاتد عمل می کند و الکترون ها به وسیله ولتاژ بالا، بیش از یک کیلو ولت، از آن به سمت آند شتاب می گیرند. الکترون ها در مسیر خود از کاتد به آند، در منبع پلاسما به اتم های آرگون برخورد می کنند. واکنش زیر در آنجا اتفاق می افتد:



به این ترتیب یون های آرگون تولید می شوند. برای ایجاد حرکت ماریپیچ در الکترونها به وسیله یک سیم پیچ الکترومغناطیسی یا یک مغناطیس ثابت، بین آند و کاتد میدان مغناطیسی ایجاد میشود. ماریپیچ شدن حرکت طول مسیر الکترون ها را زیاد کرده و بنابراین یونیزاسیون بیشتر می شود.

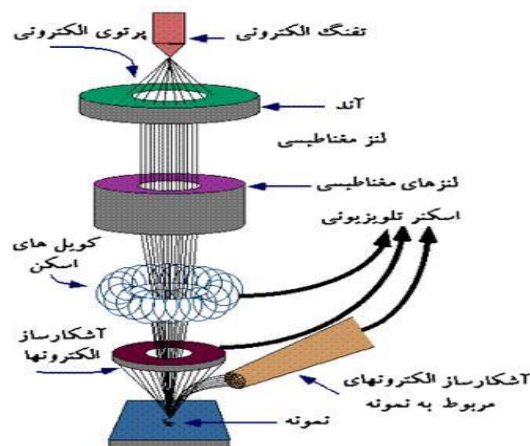
ب- شبکه های خروج: یونها توسط شبکه های خروج از پلاسما خارج می شوند. معمولا این شبکه ها از دو یا سه

g: عمق سوراخ یا شیار mm،  $f_p$ : پالس فرکانس Hz  
 db: قطر پرتو در موقع تماس با قطعه mm  
 $V_a$ : شتاب ولتاژ، kV،  $I_e$ : جریان انتشار اشعه mA  
 K: ثابت MRR: نرخ باربرداری

### ۲-۵ بافت دار کردن به روش تخلیه الکتریکی

از روش تخلیه الکتریکی برای بافت دار کردن ورق های رول فلزی استفاده می شود. این روش از چهار جزء تشکیل می شود: الف-الکتروود ابزار (مجموعه ابزار انگشتی مونتاژ شده)، ب-ورق رول فلزی (به عنوان قطعه کار)، ج-سیال دی الکتریک، د-منبع تامین جریان. هدف از استفاده از دی الکتریک (هیدرو کربور یا نفت سفید) کاهش دما در منطقه بافت دار کردن ورق و انتقال ذرات ماشین کاری شده از منطقه ماشین کاری می باشد تا جرقه ها مناسب زده شوند و اصطلاحاً پدیده آرک (Arc) اتفاق نیافتد. چنانچه بین دو الکتروود (ورق رول و الکتروود ابزار) اختلاف پتانسیلی اعمال شود در اثر برخورد شدید الکترون ها با دی الکتریک بین دو الکتروود، مولکولهای دی الکتریک یونیزه می شود و کانالی از یون بین دو الکتروود به وجود می آید که به آن کانال پلاسما گویند. پلاسما حالت چهارم ماده است و در اثر برخورد شدید یون ها به ورق رول، ورق بافت دار می شود. به مفهوم دیگر با زدن جرقه بین ابزار و ورق رول و گردش ورق به تدریج سطح ورق بافت دار می شود. هر جرقه درجه حرارتی بین ۸۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ درجه سانتیگراد تولید می کند. اندازه چاله یا حفره ای که هر جرقه از ورق رول برمی دارد به میزان انرژی جرقه بستگی دارد که مهمترین عامل موثر در مقدار آن، منبع تامین جریان است. عمق حفره به وجود آمده از چندین میکرون تا ۱ میلیمتر متفاوت است. در این فرایند برای رسیدن به سطح دلخواه بدنه خودر بعد از پرس کاری و رنگ کاری، نیازهای مشتری با دقت و صافی سطح زیاد ورق رول تامین می شود. نیازهای مشتری بیشتر بیشتر مربوط به صافی سطح و تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع می باشد [۴۱]. بافت دار کردن سطح ورق رول را می توان از طریق تکنولوژی تخلیه الکتریکی در سطح ورق ایجاد نمود و بهترین سطح دلخواه را بر روی سطح ورق رول ایجاد نمود [۴۲][۴۳]. فرآیند بافت دار کردن ورق رول به روش تخلیه الکتریکی از مراحل زیر تشکیل می شود: الف- الکتروود ابزار به ورق رول فلزی نزدیک شده و هر دو بار دار می شوند (معمولاً ورق رول را به قطب مثبت و الکتروود ابزار را به قطب منفی) ب- چون

برای تولید الکترون با انرژی زیاد استفاده می شود. پرتوهای الکترونی شامل یک اندازه نقطه کوچک، که باعث می شود الکترون با سرعت بالا حرکت کند. ورق رول یا قطعه کار باید تحت برخورد پرتوهای الکترونی در خلاء قرار گیرد تا کار براده برداری، و بافتدار کردن سطح انجام شود. ورق رول در یک اتاقک خلاء حول محور خود می چرخد. گردش ورق رول همافنگ با برقراری فرکانس طوری همزمان تنظیم می شود که حفره ها بصورت همگن در سطح ورق پخش شود و آنرا بافتدار نماید. مزیت مهمی که این فرایند دارد این است که کنترل اشعه می تواند بصورت الکترو مغناطیسی انجام گیرد. از این رو می توان نمونه های توپوگرافی پیچیده ای با استفاده از این روش تولید نمود. در شکل (۴) یک نمونه از مکانیزم کار دستگاه بافت دار کردن ورق ها بوسیله پرتو الکترونی نشان داده شده است.



شکل ۴- نمونه ای از مکانیزم دستگاه پرتو الکترونی [۴۰]

سرعت براده برداری و بافت دار کردن در فرایند پرتو الکترونی

$$n_{ev} = m_e / m \quad (7)$$

$n_{ev}$ : تعداد حجمی  $m_e$ : جرم کنده شده به ازای هر پالس و  $m$  جرم مواد برداشته شده است.  
 ب- سرعت براده برداری

$$n_a = g_e / g \quad (8)$$

$n_a$ : تعداد خطوط،  $g_e$ : عمق ایجاد شده به ازای هر پالس  
 g: عمق سوراخ

زمان ماشین کاری را با استفاده از شمارشگرهای الکترون که تعداد پالس ها را ثبت می کنند می توان محاسبه نمود. نرخ باربرداری MRR برابر است با:

$$MRR(mm^3/min) = K d_b^2 g f_p I_e V_a \quad (9)$$

استفاده می شود. هر جرقه، یک حفره کوچکی در سطح ورق رول شده ایجاد می کند. در نتیجه هر جرقه حفره ای کوچک در سطح ورق از طریق ذوب و تبخیر کردن آن ایجاد می کند [۴۵]. پهنا، عمق، شکل و اندازه حفره بستگی به میزان جریان و ولتاژ و زمان روشن و خاموشی پالس دارد [۴۶]. در نتیجه، درجه بالایی از کنترل فرایند و بهینه سازی انجام می شود. به مفهوم دیگر در این روش، الکتروود ابزار بصورت شعاعی نسبت به سطح ورق رول در حال دوران حرکت می کند. هر پالس موجب تخلیه الکتریکی، بین ابزار و ورق رول می شود و موجب می شود تا سطح کوچکی از ورق رول ذوب و در آن یک حفره ایجاد شود. این روش بافت دار کردن ورقها، در واقع نوعی از روش ماشین کاری تخلیه الکتریکی است که در آن ورق رول بعنوان یک الکتروود، و مجموعه ابزار مونتاژ شده، بعنوان الکتروود دیگر بوسیله مایع دی الکتریک مانند روغن هیدروکربن دار مانند پارافین جدا می شود. تشکیل سریع حفره ها در ورق رول در نتیجه تخلیه انرژی الکتریکی بین دو الکتروود، می باشد که از طریق کنترل فاصله بین دو الکتروود توسط سرومکانیزم انجام می شود. در این روش امکان کنترل مستقل ارتفاع حفره ها و تعداد حفره ها در واحد سطح وجود دارد. این کار از طریق انتخاب صحیح متغیرهای عملیات ماشین کاری مانند جریان و زمان پالس امکان پذیر است [۴۷]. بنابراین می توان بر اساس مشخصات بافت سطح ورق طراحی شده، سطح ورق های رول را بافت دار نمود. به طور خلاصه در این روش هر تخلیه الکتریکی موجب ایجاد یک حفره بسیار کوچک بر روی ورق رول می شود که اندازه و شکل حفره تابع جریان عمل کننده، ولتاژ و پالس زمانی می باشد در نتیجه این تکنیک یک پروسه کنترلی درجه بالا در مقایسه با سایر روشهای متداول است. بهینه سازی فرآیند بافت دار کردن ورق از طریق انتخاب مناسب متغیرهای عملکردی امکان پذیر است. در این سیستم، ورق رول شده همراه با کله گی ابزار که شامل چندین الکتروود ابزار است که به ترتیبی منظم در کنار هم با فاصله مشخص قرار گرفته و به یک یا چند واحد کنترلی خود سامان (سرو) متصل است. از منبع انرژی چند کاناله استفاده می شود و فرایند تخلیه الکتریکی را در حالی که مایع دی الکتریک در بین ابزار ها و ورق رول قرار دارد را کنترل می نماید. هر جرقه با انرژی بالا منجر به ذوب موضعی و تبخیر حفره ای کروی از سطح ورق رول می شوند.

سطح الکتروود ابزار و ورق رول هر دو در اشل میکرونی دارای پستی و بلندی می باشند، بنابراین بین دو نقطه که نزدیکترین فاصله را با هم دارند کانال پلاسما ایجاد شده و جرقه زده می شود. ج- در اثر تمرکز بالای کانال پلاسما حفره ای در ورق رول ذوب و ایجاد می شود. د- فشار کانال پلاسما بسیار بالا است و با قطع شدن جرقه و در پی آن قطع شدن کانال پلاسما چون مذاب در آن دما و فشار نمی تواند دوام داشته باشد به یکباره با حالت انفجاری به اطراف پراکنده می شود. ه- دی الکتریک با شستشوی خود ذرات پراکنده شده را جمع آوری میکند. در این فرایند ماده ای که به عنوان الکتروود ابزار مورد استفاده قرار می گیرد باید خصوصیات مطلوبی از جمله سهولت ماشین کاری، نرخ سایش پایین ابزار، هدایت خوب الکتریکی و گرمایی و ارزانی و به آسانی در دسترس بودن را داشته باشد. بیشترین مواد و آلیاژهایی که به عنوان الکتروود ابزار مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: الف- مس: که پایداری آن بالا و نرخ سایش آن نسبتا پایین است. ب- گرافیت: که به راحتی قابل ماشین کاری، نرخ سایش آن پایین و هدایت الکتریکی بالایی دارد. ورق رول از طریق فرایند تخلیه الکتریکی بافت دار می شود. در این فرایند سطح ورق رول در هنگام بافتندار شدن در مایع دی الکتریکی مانند پارافین غوطه ور و از الکتروود ابزار جدا می باشد. بافت دار کردن ورقها به روش تخلیه الکتریکی با استفاده از جریان کوتاه منقطع، در فاصله بین ابزار و ورق رول ایجاد می شود. هر جرقه موجب ایجاد حفره ای در سطح ورق می شود. تعداد این حفره ها در واحد سطح ورق، نشان دهنده چگالی و تعداد حفره ها است که بستگی به قطر و عمق هر حفره دارد. برای ایجاد حفره در سطح ورق رول، ضروریست تا جریانی به صورت پالسی وارد الکتروودهای ابزار و ورق رول شود و دامنه و زمان روشنی هر پالس به دقت کنترل شود. فاصله بین دو الکتروود بایستی تنظیم و مقدار آن در طول عملیات ثابت باشد [۴۴]. با انتخاب پارامترهای مناسبی مانند جریان، ولتاژ، زمان روشنی و خاموشی پالس، پولاریته، جنس الکتروود، نوع دی الکتریک، سرعت دورانی ورق رول، این امکان وجود دارد تا ارتفاع و تعداد حفره ها را در واحد سطح با دقت بالا و یکنواختی مناسبی بر اساس نیاز طراح در ابتدای طراحی مشخص نمود. در بافت دار کردن ورق های به روش تخلیه الکتریکی، از یک سری جرقه های منقطع از یک منبع قدرت DC در بین الکتروود ورق رول شده و الکتروود ابزار

$$MRR = V_c \cdot f \cdot \eta \quad (14)$$

$$MRR = \frac{W_i - W_f}{\rho} \quad (\text{mm}^3/\text{min}) \quad (15)$$

hc عمق حفره، Dc قطر حفره، K1، K2 ضریب ثابت مواد ابزار، و n ضریب ثابت مایع دی الکتریک است. ثابت n بستگی به ترکیب ابزار کاری دارد. مقدار K1، K2 و n در هر آزمایشی مشخص می شود. Wp انرژی پالس بر حسب ژول و MRR نرخ باربرداری از ورق می باشد. ρ وزن مخصوص، Wi وزن اولیه و Wf وزن نهایی می باشد.

جدول ۲-مقایسه روش های مختلف بافت دار کردن [۸]

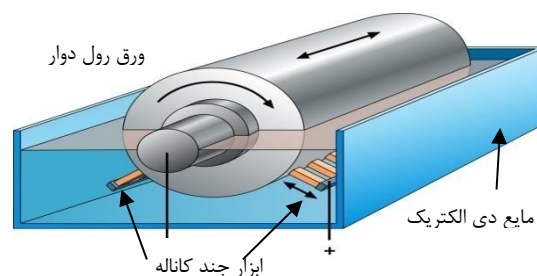
پرتوهای الکترونی	پرتوهای لیزر	تخلیه الکتریکی	شات بلاست	روش
تعیین شونده	۵۰٪ تعیین شونده	اتفاقی	اتفاقی	نوع بافت
-	۰.۸-۱.۰	۰.۸-۱.۰	۶-۱	Ra (μm)
متوسط تا زیاد	کم تا زیاد	زیاد	کم تا متوسط	/PC تعداد cm <sup>2</sup>
رابطه کم	رابطه کم	رابطه دارد	رابطه دارد	رابطه Ra و PC
بخوبی دارد	بخوبی دارد	بخوبی دارد	ندارد	قابلیت تکرار
خوب	کاهش	خوب	محدود	ساختار ورق خشک
کاملا کاهش	کاملا کاهش	کاهش	کاهش	ساختار ورق رول تر

### ۳-طراحی سیستم هوشمند بافت دار کردن ورق

#### های رول به روش تخلیه الکتریکی

در ادبیات علمی، از سیستم های هوشمند مدلسازی و طراحی شده است [۴۹]. فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی هوشمند به روش شبکه عصبی مصنوعی پیشخور با باز انتشار خطا توسط پژوهشگران دیگر مدلسازی شده و خروجی آن شامل نرخ براده برداری و فرسایش ابزار توسط الگوریتم کرم شبتاب بهینه گردیده است. تغییر پارامترهای خروجی بر اساس پارامترهای ورودی شامل شدت جریان، زمان روشنی پالس و زمان خاموشی پالس تعیین گردیده و در نهایت برای هر یک از مراحل خشن تراشی و پرداخت

در بافت دار کردن به روش تخلیه الکتریکی، از یک کله گی ابزار استفاده می شود. در این کار آزمایشی الکتروود ابزار شامل شبکه ای از گرافیت انگشتی شکل است که دارای شکل انحناهای ورق رول می باشد. هر انگشتی از انگشتی مجاور جدا گردیده (ایزوله شده) و در عوض به طور هنرمندانه ای به یک ژنراتور پالسی چندکاناله متصل گردیده است. ابزار و قطعه کار در مایع دی الکتریک غوطه ور می باشد. ورق رول شده در جهت عقربه های ساعت حرکت می کند. در شکل (۵) ابزار چندکاناله به روش تخلیه الکتریکی به همراه ورق رول دوار شده نشان داده شده است. تشکیل حفره ها و بافت دار کردن سطح ورق، در نتیجه تخلیه انرژی الکتریکی بین ابزار و ورق رول فلزی اتفاق می افتد. بنابراین می توان مزایای این روش را در موارد زیر خلاصه نمود: الف- همگن بودن سطح ورق بافت دار شده؛ ب- پایداری و همگنی بافتها در سطح ورق؛ ج- محدوده وسیعی برای انواع بافت دار کردن ورقها وجود دارد. د- کنترل بهتر زبری و تعداد نقاط پیک (تعداد حفره ها در واحد سطح)؛ ه- طول عمر ورق و قالب طولانی تر است. در جدول ۲-مقایسه روشها و فناوریهای مختلف بافت دار کردن ورقها نشان داده شده است.



شکل ۵- بافت دار کردن ورقها به روش تخلیه الکتریکی [۴۸]

Ra صافی سطح و PC تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع است. در فرایند بافت دار کردن ورقها به روش تخلیه الکتریکی، متغیرهای حفره ها را می توان تابعی از انرژی اندازه گیری شده به صورت زیر است.

$$hc = K1 W_p n \quad (10)$$

$$Dc = K2 W_p n \quad (11)$$

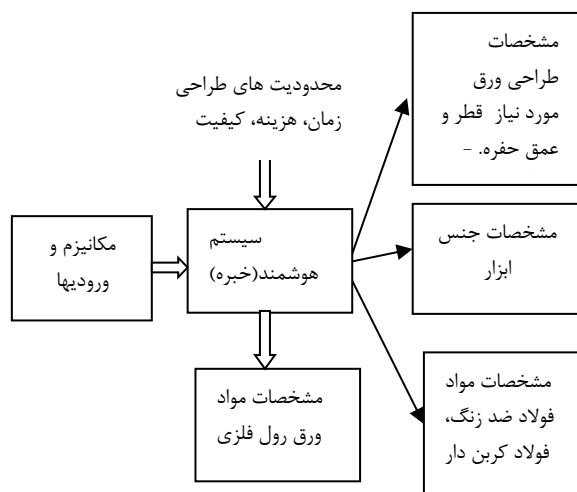
$$V_c = \pi/6 hc (3/4 Dc^2 + hc^2) \text{ mm} \quad (12)$$

$$V_c = \pi/6 K1 W_p^3 n (3/4 K2^2 + K1^2) \quad (13)$$



### ۳-۱- معماری سیستم هوشمند بافت دار کردن ورق

سیستم هوشمند می تواند اطلاعات و داده ها را از پایگاه داده دریافت و با انتخاب مناسب پارامترهای ماشین کاری و پس از بررسی قابلیت ساخت و کیفیت ورق، زمان و هزینه بافت دار کردن ورقها، را برآورد نماید و توصیه هایی را به طراح و یا مهندس ساخت ارائه نماید است. سیستم هوشمند همچنین دارای پایگاه دانشی است که دارای قوانینی است که براساس تجربیات عملی مناسب تدوین شده است. هر ورق رول شده از طریق سیستم هوشمند قابلیت بافت دار کردن آن را مورد بررسی قرار می دهد. سیستم علاوه بر زمان و هزینه بافت دار کردن، هزینه های نیروی انسانی و استهلاک ماشین را محاسبه می نماید. همچنین سیستم جهت انتخاب بهینه پارامترهای ماشین کاری می تواند توصیه های موثری به مهندس ساخت و تولید ارائه نماید. فلوجارت سیستم هوشمند در شکل (۷) نشان داده شده است



شکل ۶- ورودیها، خروجی ها، محدودیت ها و پایگاه های اطلاعاتی سیستم هوشمند

سیستم هوشمند دارای پایگاه دانشی است که از طریق صحبت با افراد هوشمند و جمع آوری اطلاعات از طریق ادبیات علمی و اطلاعات آزمایشگاهی در زمینه بافت دار کردن ورقهای فولادی به روش تخلیه الکتریکی بدست آمده است. این سیستم از بخش های زیر تشکیل شده است: الف- پایگاه اطلاعاتی طراحی و مشخصات ورقهای رول که شامل اندازه حفره ها، قطر حفره ها، عمق حفره ها و تعداد حفره ها در در یک سانتی متر مربع می باشد که قابل طراحی می باشد، و سیستم هوشمند از طریق این پایگاه اطلاعاتی،

کاری پارامترهای متناسبی ارائه گردیده است [۴۹]. در فرایند تخلیه الکتریکی از سیال دی الکتریک استفاده می شود [۵۰]. برای برشکاری و بهینه سازی صافی سطح در مواد ترد و شکننده مانند شیشه از فرایند برشکاری جت آب همراه با ذرات ساینده استفاده می شود. در این روش هوشمند از شبکه عصبی- الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی صافی سطح برشکاری شیشه استفاده شده است [۵۱]. از شبکه عصبی هوشمند برای مدل سازی و پیش بینی صافی سطح و نرخ ماشین کاری با توجه به پارامترهایی مانند جریان، ولتاژ، زمان روشنی پالس، زمان خاموشی پالس، و فاصله ابزار تا قطعه کار استفاده شده است [۵۲]. پژوهشگران همچنین یک روش هوشمند برای شناسایی و طبقه بندی سطح کیفیت توان ارائه نموده اند [۵۳]. در این مقاله یک سیستم هوشمند برای بافت دار کردن ورق های رول فلزی از طریق تخلیه الکتریکی طراحی و توسعه داده شده است. از نرم افزار نکسپرت<sup>۱</sup> و تکنیک نرم افزاری شی مدار<sup>۲</sup> استفاده شده است. تکنیک شی مدار همان تکنیکی است که در برنامه ریزی C++ از آن استفاده می شود تا با سرعت و تعداد خط ها و زمان کمتری برنامه هوشمند نوشته شود. مشخصات هندسی حفره ای که می خواهیم در ورق رول فلزی ایجاد کنیم، قطر و عمق این حفره ها، نوع ورقی را که می خواهیم بافت دار کنیم به سیستم داده می شود، آنگاه سیستم قابلیت بافت دار کردن ورقها را بررسی و زمان و هزینه آن را برآورد نموده و کیفیت آنرا براساس متغیرهای ماشین، به صورت بهینه انتخاب و محاسبه می نماید. همچنین سیستم هوشمند هزینه های نیروی انسانی، استهلاک دستگاه و متغیرهای ماشین کاری را مشخص می کند. ورقهای رول مورد نیاز برای بافت دار شدن براساس جنس مواد و قطر و عمق حفره هایی که روی آن ایجاد می شود مشخص می شوند. ویژگیهای جنس پنج نوع از ورقهای رول و ویژگیهای جنس سه نوع مواد مورد استفاده جهت الکتروود ابزار، و دو نوع ماده دی الکتریک و ۲ اندازه مختلف ماشین تخلیه الکتریکی با تعداد الکتروودهای ابزار بین ۶ تا ۷۲ الکتروود در پایگاه داده ذخیره شده است. در شکل (۶) ورودیها، خروجی ها، محدودیت ها، پایگاه اطلاعاتی و ویژگیهای طراحی سیستم هوشمند نشان داده شده است.

<sup>2</sup> Object Oriented Technique

<sup>1</sup> NEXPERT

باشد، و سیستم هوشمند از طریق این پایگاه اطلاعاتی، مشخصات ورق طراحی شده را دریافت می کند.

ب-جنس چهار نوع ورق رول شده و ویژگیهای آن در پایگاه اطلاعاتی ذخیره شده است. همچنین جنس سه نوع الکتروود ابزار و ویژگیها و تعداد آن در پایگاه اطلاعاتی ابزار ذخیره شده است. ج- ویژگیهای دو نوع محلول دی الکتریک و ویژگیهای آن در پایگاه اطلاعاتی دی الکتریک ذخیره شده است. د- مشخصات دو ماشین بافت دار کردن سطوح ورق که دارای ظرفیت و قابلیت های مختلفی می باشند به همراه مجموعه ابزار هایی که در روی الکتروود ابزار منتاژ شده و تعداد آنها می تواند ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۲، ۴۸، ۵۴، ۶۰، ۶۶ یا ۷۲ عدد باشد. ه- سیستم هوشمند براساس نوع و مشخصات ورق رول شده و براساس جنس ابزار و تعداد آن و نوع ماشین، سیکل زمان ماشین کاری، هزینه ماشین کاری، صافی سطح و تعداد حفره ها را در واحد سطح برآورد می کند. و- سیستم هوشمند همچنین قابلیت دارد تا نرخ تولید و راندمان و هزینه و زمان بافت دار کردن سطح ورق رول را محاسبه نماید. سیستم هوشمند، همچنین مهندس ساخت را طوری هدایت می کند که پارامترهای ماشین را به صورت بهینه انتخاب نماید. در جدول ۱ مقایسه نتایج تجربی استفاده از ماشین بافت دار کردن ورقهای فولادی با ابزار گرافیت فشرده EC17 با نتایج سیستم هوشمند نشان داده شده است.

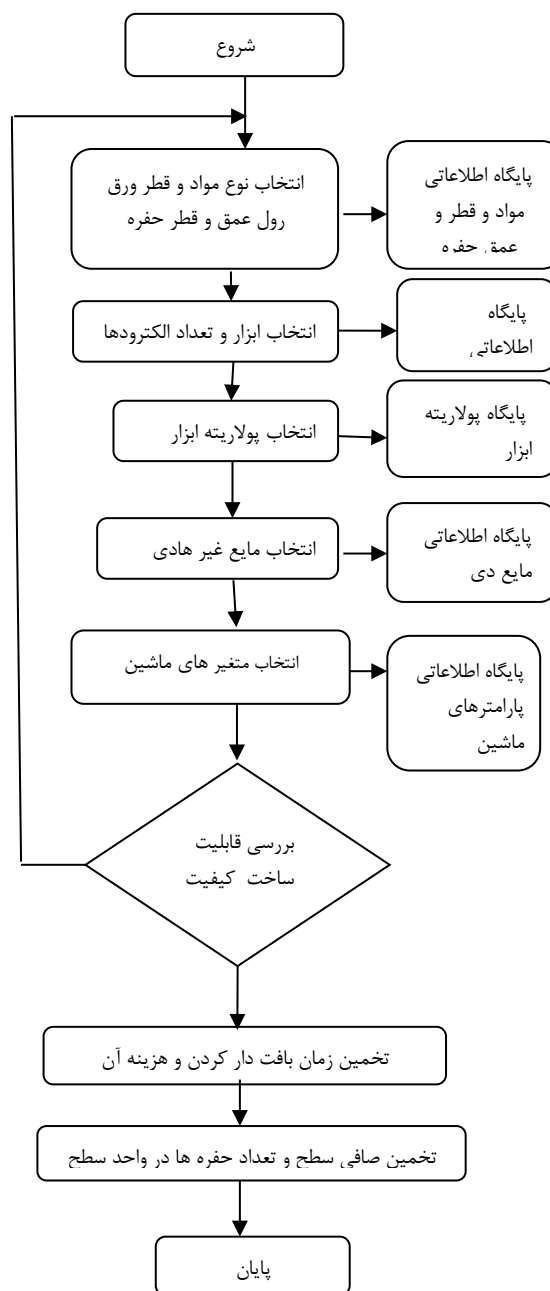
جدول ۱- نتایج تجربی بافت دار کردن ورقهای فولادی با ابزار گرافیت فشرده EC17 با نتایج سیستم هوشمند

اطلاعات جدول: ورق استیل رول شده به قطر ۶۳ میلیمتر و به عرض ۵۰۰ میلی متر، ابزار گرافیت فشرده EC17، مایع دی الکتریک BP180، جریان ۲ آمپر، زمان روشن پالس ۱۰۵ μ، زمان خاموش پالس ۲۰۵ μ

نوع روش	پولاریته	تعداد حفره در cm <sup>2</sup>	صافی سطح
سیستم	مثبت	۹۰	۱/۳
تجربی	منفی	۱۴۵	۱/۸
سیستم	مثبت	۱۰۰	۱/۲
هوشمند	منفی	۱۵۵	۱/۶

در جدول ۴ برآورد زمان و هزینه و راندمان بافت دار کردن ورق های رول توسط سیستم هوشمند برای تعداد ابزار ۶ تا ۷۲ ابزار به روش تخلیه الکتریکی نشان داده شده است.

مشخصات ورق طراحی شده را دریافت می کند.



شکل ۷- فلوجارت سیستم هوشمند بافت دار کردن به روش تخلیه الکتریکی

سیستم هوشمند دارای پایگاه دانشی است که از طریق صحبت با افراد هوشمند و جمع آوری اطلاعات از طریق ادبیات علمی و اطلاعات آزمایشگاهی در زمینه بافت دار کردن ورقهای فولادی به روش تخلیه الکتریکی بدست آمده است. این سیستم از بخش های زیر تشکیل شده است: الف- پایگاه اطلاعاتی طراحی و مشخصات ورقهای رول که شامل اندازه حفره ها، قطر حفره ها، عمق حفره ها و تعداد حفره ها در در یک سانتی متر مربع می باشد که قابل طراحی می

تجربی با تعداد ابزار ۶، ۳۶ و ۷۲ (ابزار مختلف) مقایسه شده است و زمان و هزینه بافت دار کردن ورق رول فلزی به قطر ۵۰۰ و طول ۱۰۰۰ میلی متر نشان داده شده است.

جدول ۴ - برآورد زمان و هزینه و راندمان بافت دار کردن ورق های رول توسط سیستم هوشمند برای تعداد ابزار ۶ تا ۷۲ ابزار به روش تخلیه الکتریکی

اطلاعات جدول: ورقه استیل رول شده به قطر ۵۰۰ میلیمتر و به عرض ۱۰۰۰ میلی متر، نوع ابزار EC15C، مایع دی الکتریک BP100، پولاریتی مثبت، صاف سطح ۲m و تعداد نقاط بافت دار شده در یک سانتی متر مربع ۱۱۰ نقطه

راندمان ماشین (%)	هزینه بافتدار	زمان بافتدار	تعداد ابزار
۸	۸۶	۱۵۰	۶
۱۷	۵۰	۷۵	۱۲
۲۵	۴۱	۵۰	۱۸
۳۳	۳۷	۳۷	۲۴
۴۲	۳۵	۳۰	۳۰
۵۰	۳۳	۲۵	۳۶
۵۸	۳۲	۲۱	۴۲
۶۷	۳۱	۱۸	۴۸
۷۵	۳۰	۱۶	۵۴
۸۳	۳۰	۱۵	۶۰
۹۲	۲۹	۱۳	۶۶
۱۰۰	۲۸	۱۲	۷۲

در شکل (۸) مقایسه زمان تجربی بافت دار کردن ورق با زمان سیستم هوشمند با هم مقایسه شده و صحت سیستم هوشمند را نشان می دهد. زمان و هزینه بافت دار کردن سیستم هوشمند حدود ۱۰٪ کمتر از سیستم تجربی می باشد. در شکل (۹) سیستم هوشمند، زمان و هزینه بافت دار کردن ورق رول به قطر ۵۰۰ و طول ۱۰۰۰ میلی متر با تعداد ابزار مختلف از ۶ تا ۷۲ ابزار را برآورد نموده است. در شکل (۹)، خط آبی نشان دهنده ابزار های مونتاژ شده در گروه های ۶ تایی است. عدد ۱ نشان دهنده ۶×۱=۶ ابزار و عدد ۶ نشان دهنده ۳۶=۶×۶ ابزار مونتاژ شده در ماشین تخلیه الکتریکی است. خط قرمز نشان دهنده زمان مورد نیاز برای بافت دار کردن ورق رول فلزی به قطر ۵۰۰ و طول ۱۰۰۰ mm برای دستگاهی که دارای ۶ تا ۷۲ ابزار می باشد. و خط سبز هزینه بافت دار کردن ورق رول می باشد.

جدول ۲ - مقایسه تجربی بافت دار کردن ورقهای فولادی با نتایج سیستم هوشمند

اطلاعات جدول: ورقه استیل رول شده به قطر ۶۳ میلیمتر و به عرض ۵۰۰ میلی متر، نوع ابزار مس HD7، مایع دی الکتریک BP180، جریان ۴ آمپر، زمان روشن ۸۰s، زمان خاموش ۲۰s

تعداد حفره در cm <sup>2</sup>	صافی سطح μm	پولاریته	نوع روش
۱۷۰	۲/۸۵	مثبت	سیستم
۱۷۵	۲/۸	منفی	تجربی
۱۸۰	۲/۶۵	مثبت	سیستم
۱۸۸	۲/۵۹	منفی	هوشمند

جدول ۳ - مقایسه تجربی بافت دار کردن ورقهای فولادی با نتایج سیستم هوشمند

اطلاعات جدول: ورقه استیل رول شده به قطر ۶۳ میلیمتر و به عرض ۵۰۰ میلی متر، نوع ابزار مس HD7، مایع دی الکتریک BP180، جریان ۴ آمپر، زمان روشن ۸۰s، زمان خاموش ۲۰s

تعداد حفره ها در cm <sup>2</sup>	صافی سطح ورق رول	زمان روشنی پالس	تعداد ابزار ۲۴ عدد.
۱۷۵	۰/۴	۰/۵	۲۴
۱۷۰	۲	۲	۲۴
۱۵۰	۱/۳	۲	۲۴
۱۴۰	۱/۸	۴	۲۴
۱۱۰	۲/۲	۶	۲۴
۱۰۰	۲/۳	۸	۲۴

سیستم هوشمند با انتخاب بهینه متغیرهای ماشین تخلیه الکتریکی، می تواند، زمان و هزینه بافت دار کردن ورق های فلزی را در حداقل زمان ممکن یعنی در حدود ۳۰ ثانیه مشخص نماید. در صورتی که مشخص کردن زمان و هزینه بافت دار کردن ورق از طریق تجربی مشکل و زمان بر است. طراح می تواند با دیدن نتایج فوق مشخصات بافت ورق طراحی شده را تغییر و آن را بهینه نماید. همچنین مهندس ساخت می تواند از طریق سیستم هوشمند پارامترهای ماشین را به صورت بهینه برای بافت دار کردن ورق انتخاب نماید. سیستم هوشمند همچنین می تواند تاثیر میزان جریان را بر تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع و صافی سطح آنرا حساب کند. جدول ۵ مقایسه زمان و هزینه بافت دار کردن ورق توسط سیستم هوشمند با نتایج سیستم

در این مقاله در دو بخش توضیح داده شد. در بخش اول انواع روش ها و فناوری های بافت دار کردن ورق های رول شده مورد بحث و بررسی قرار گرفت و مزایای هر یک مشخص و با هم مقایسه شد. این روش ها شامل بافت دار کردن انواع ورق های رول شده فلزی به روش های شات بلاست، پرتوهای لیزر، پرتوهای الکترونی، پرتوهای یونی، و روش تخلیه الکتریکی می باشد. در بخش دوم مقاله یک سیستم هوشمند برای بافت دار کردن ورقهای فولادی به روش تخلیه الکتریکی طراحی و توسعه داده شد. مهمترین نتایج این سیستم و قابلیت و مشخصات آن عبارتند از:

۱- سیستم هوشمند توسعه داده شده قادر است قابلیت بافت دار کردن ورقهای رول فلزی را بررسی و صافی سطح و نرخ تولید، و تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع و زمان و هزینه و راندمان ماشین تخلیه الکتریکی را برای ظرفیت ها و تعداد ابزار های مختلف از ۶ تا ۷۲ ابزار، را در ظرف کمتر از ۳۰ ثانیه محاسبه و مشخص نماید.

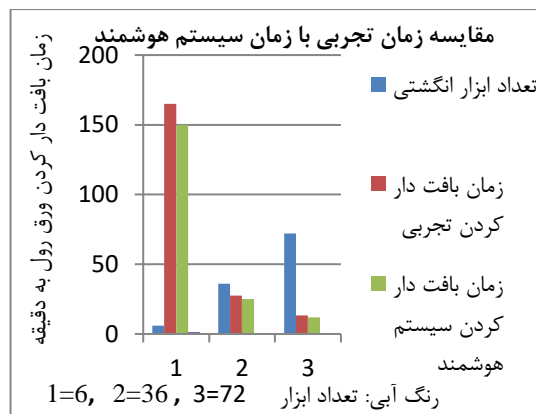
۲- برای ارزیابی و درستی و صحت خروجی سیستم هوشمند، خروجی های آن با سیستم تجربی مقایسه شد و مشخص شد که بعلا انتخاب بهینه متغیر های ماشین کاری در سیستم هوشمند، برآورد صافی سطح و تعداد حفره ها در یک سانتی متر مربع و نرخ تولید ۱۰٪ بیشتر (بهتر) از سیستم تجربی می باشد.

۳- مقایسه برآورد زمان و هزینه بافت دار کردن ورق های رول در سیستم هوشمند، بعلا انتخاب متغیر بهینه ماشین، ۱۰ درصد کمتر (بهتر) از سیستم تجربی می باشد.

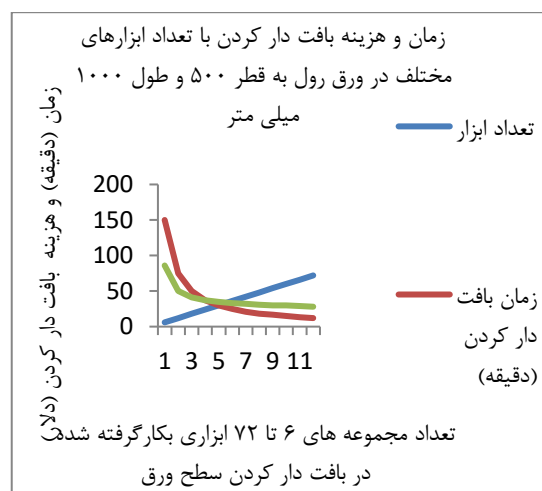
۴- سیستم هوشمند با سیستم طراحی به کمک کامپیوتر و پایگاه های اطلاعاتی مختلفی مرتبط است. اطلاعات مربوط به انواع ورقها و ابزارهای مختلف، و اطلاعات مربوط به مایع دی الکتریک در پایگاه اطلاعاتی مختلفی واریز شده است.

۵- سیستم هوشمند با اطلاعاتی که در اختیار مهندس طراح قرار می دهد موجب می شود تا زمان و هزینه بافت دار کردن ورقها را بداند و با انتخاب بهینه مشخصات ورق های بافت دار شده، زمان و هزینه بافت دار کردن ورقها را کاهش دهد.

۶- سیستم هوشمند همچنین اطلاعات مناسبی در اختیار مهندس ساخت قرار می دهد تا بتواند پارامترهای ماشین تخلیه الکتریکی را جهت بافت دار کردن ورقها بطور بهینه انتخاب نماید.



شکل ۸- مقایسه زمان سیستم تجربی با سیستم هوشمند برای بافت دار کردن ورق به قطر ۵۰۰ و عرض ۱۰۰۰ mm



شکل ۹- برآورد زمان و هزینه بافت دار کردن ورق رول فولادی به قطر ۵۰۰ و طول ۱۰۰۰ میلی متر با تعداد ابزار مختلف از ۶ تا ۷۲ ابزار توسط سیستم هوشمند

جدول ۵- مقایسه نتایج سیستم هوشمند با سیستم تجربی با تعداد ابزار ۶، ۳۶، ۷۲ (ابزار مختلف)

اطلاعات جدول: ورقه استیل رول شده به قطر ۵۰۰ میلیمتر و به عرض ۱۰۰۰ میلی متر، نوع ابزار EC15C، مایع دی الکتریک BP100، پولاریتی مثبت، صاف سطح ۲m و تعداد نقاط بافت دار شده در یک سانتی متر مربع ۱۰ نقطه

نوع سیستم	تعداد ابزار	زمان بافت دار کردن (دقیقه)	هزینه بافت دار کردن (دلار)
سیستم	۶	۱۶۵	۹۴/۶
تجربی	۳۶	۲۷/۵	۳۶/۳
	۷۲	۱۲	۲۸
سیستم	۶	۱۵۰	۸۶
هوشمند	۳۶	۲۵	۳۳
	۷۲	۱۲	۲۸

#### ۴- نتیجه گیری

## مراجع

- [1] A.L. Vickers, “ Steels for the Automotive Industry”, in Proc. of Conf Moving Forward with Steel-Automobiles The Iron + Steel Div Instit Materials London 13-14, 1992.
- [2] H. Simao, D.K. El-Menshawy, M.L. Aspinwall, , H. Wise L. Kockott, “Simulated laser texturing using a modified electrical discharge arrangement” , In Advanced of Intelligent Production, Eiji Usui (Editor), Elsevier Science B.V., The Japan Society for Precision Engineering, 1994.
- [3] M.F. El-Menshawy, M.S. Ahmed, “Monitoring and control of the electro-discharge texturing process for steel cold mill work rolls”, Proc 13th NAMER (North America Manuf Res Conference, Berekley, USA, 1985, pp. 470-475.
- [4] O. Pawelski, W. Rasp, W. Zwick, H.J. Nettelbeck, K. Steinhoff, ”The influence of different work-roll texturing systems on the development of surface structure in the temper rolling process of steel sheet used in the automotive industry”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 45, No. 1-4, 1994, pp. 215-222.
- [5] M.S. Ahmed, J.A.G. Knight, ”Roll Texturing by EDT, Mechanical Working and Steel”, Processing Proceedings, Vol. 45, 1988, pp. 405-413.
- [6] V. Kundracik, “Mikrogeometria povrchu pásu na povrchové diely automobilov”. In.: Pozinkovaný materiál pre automobilový priemysel. Zborník prednášok z 66. pracovného seminára Spoločnosti Ocelové pásy, Jahodná, 2009.
- [7] K. Kuzman, ” Enviromental friendly lubricants in deep drawing of steel sheets metal”, Report Enform project, Celje, 2000.
- [8] K. Kuzman, “Environmental friendly lubricants in deep drawing of steel sheet metal”, Final report of the research project Concerted Action Contract No. : IC15-CT98-0824 (DG12-MZCN), Celje TECOS, 2002.
- [9] J. Revaj, “Vplyv parametrov procesu elektroiskrového textúrovania na mikrogeometriu povrchu valcov”, diplomová, Technická univerzita Ko, 2007.
- [10] M. Gombar, “Statistical Model of the Surface Roughness in MATLAB”, Manufacturing engineering, Vol. 5, No. 1, 2006, pp. 14-17.
- [11] A. Dzierwa, “Chosen Properties of Chromium Coating after Pneumatic Ball Peening”. Manufacturing engineering, Vol. 5, No. 2, 2006, pp. 62-65.
- [12] E. Evin, “Vplyv fázového zloženia povlakov Fe-Zn na charakteristiky trenia pri lisovaní. Metal”, Ostrava Tanger, ISBN 9788025419878, 2008.
- [13] I. Evin Emil, ” ELECTRO-DISCHARGE TEXTURING OF TOOLS SURFACES FOR ROLLING OF STEEL SHEETS,” Transfer inovácií 32, 2015, pp 7-11
- [14] J. Meijer, “Laser beam machining (LBM), state of the art and new opportunities”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 149, No. 1-3, 2004, pp. 2–17.
- [15] J.K.S. Sundar, S.V. Joshi, “Laser cutting of materials, Centre for Laser Processing of Materials”, International Advance Research Centre for Powder Metallurgy and New Materials, Hyderabad, 2009.
- [16] M. Sadegh Amalnik, “An Intelligent Knowledge Based System for CO2 Laser Beam Machining for Optimization of Design and Manufacturing”, Int J Advanced Design and Manufacturing Technology, Vol. 9, No. 4, 2016, pp. 39-50.

- [17] G.N. Levy, R. Schindell, J.P. Kruth, "Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing technologies", state of the art and future perspectives. Ann. CIRP, Vol. 52, No. 2, 2003, pp. 589–610.
- [18] X. Chen, X. Liu, "Short pulsed laser machining: how short is short enough? ", Journal Laser Applications, Vol. 11, No. 6, 1999, pp. 268–272.
- [19] M. sadegh amalnik, "An Intelligent Knowledge Based System for CO2 Laser Beam Machining for Optimization of Design and Manufacturing", Int J Advanced Design and Manufacturing Technology, Vol. 9, No. 4, 2016, pp.39-50.
- [20] M. sadegh amalnik, "Expert System approach for Manufacturability Evaluation of ND: YAG Laser Beam Machining Process", Int J Advanced Design and Manufact. Technology, Vol. 10, No. 2, 2017, pp.15-24
- [21] K. Murakami, T. F. Matsuo, M. Wakaya, J. Takai, Journal of Vacuum Science and Technology, B 28 2010, C2A9, 2010.
- [22] S. Matsui, T. Kaito, J. Fujita, M. Komuro, K. Kanda, Y. Haruyama, Journal of Vacuum Science and Technology, B 18, 3181, 2000.
- [23] T. Matsumura, R. Ogasawara, "Prediction of 3 Dimensional Structure in The FIB Process", in: Proc. of The Japan Society of Precision Engineering, Vol. 61, Fall Meeting, 2005, pp. 153–154
- [24] J. Taniguchi, Sh. Satake, T. Oosumi, A. Fukushige, Y. Kogo, "Dwell time adjustment for focused ion beam machining", Journal of Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vol. 307, 2013, pp. 248–252
- [25] T.B. Mark, and H.M. George, "Review article – Mass analysed secondary ion microscopy", Review of Scientific Instruments, Vol. 58, No. 10, 1987, pp.1789 – 1805.
- [26] K. Ochiai, "Characteristics of maskless ion beam assisted etching of silicon using focused ion beams", J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 4, No.1, 1986, pp. 333-336.
- [27] F. C. Van Den Heuvel, "Focused – ion – beam – induced tungsten deposition for IC repair", Microelectronic Engineering, Vol. 21, 1993, pp.209 – 212.
- [28] L. Harriott, "A second generation focused ion beam micromachining system", Proc SPIE 773, 1987, pp.190-194.
- [29] V. E. Krohn, "Liquid metal droplets for heavy particle propulsion", Progress in Astronautics and Rocketry 5, 1961, pp.73-80.
- [30] Z. Lu, M. Yoneyama, "Micro cutting in the micro lathe turning system", International Journal of Machine Tools Manufacture, Vol. 39, No.7, 1999, pp.1171 – 1183.
- [31] M. Sadegh Amalnik, "Intelligent knowledge based system for material processing by electron beam machining (EBM) process", International Journal of Advanced Engineering and Technology, Vol. 1, No. 1, 2017, pp. 32-37.
- [32] M.K. Miller, K.F. Russell, G.B. Thompson, "Strategies for fabricating atom probe specimens with a dual beam FIB", Ultramicroscopy, Vol. 102, No. 4, 2005, pp.287-298.
- [33] T. Dai, X. Kang, B. Zhang, J. Xu, B. Kui, X. Chang, G. Zizhao, "Study and formation of 2D microstructures of sapphire by focused ion beam milling", Microelectronic Engineering, Vol. 85, No. 3, 2008, pp. 640-645.
- [34] R. Steve, P. Robert, "A review of focused ion beam applications in microsystem technology", Journal of micromechanics and Microengineering, Vol. 11, No. 4, 2001, pp.287 – 300.

- [35] W.A. De Heer, A. Chatelain, D. Ugarte, "A Carbon Nanotube Field-Emission Electron Source", *Science*, Vol. 270, No. 5239, Nov. 17, 1995, pp 1179-1182
- [36] G. Chryssolouris, N. Anifantis, S. Karagiannis "Electron Assisted Machining: an Overview", *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 119, No. 4B, 1997, 1997, pp. 766-769
- [37] E. Kannatey-Asibu, "Thermal Aspects of the Split-Beam Electron Machining Concept", *ASME Journal of Engineering Materials and Technology*, 113, No. 2, 1991, pp. 215-221.
- [38] A. Moarrefzadeh, "Finite-Element Simulation of Electron Beam Machining (EBM) Process", *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, Vol. 2, No. 6, 2012, pp. 51-56,
- [39] P. Incorpoera, F. Lavin, D.P. DeWitt, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 4th Ed. Jhon Wiley & Sons, New York, 1996.
- [40] S. Sadeghamalnic, "Introducing various type of technology for texturing of sheet rolled metal and modeling and developing an intelligent system for electrical discharge texturing", *Journal of Modeling in Engineering*, Vol. 16, No. 54, pp. 28-36.
- [41] V. Kundracik, "Mikrogeometria povrchu pásu na povrchové diely automobilov", In :Pozinkovaný materiál pre automobilový priemysel, Zborník prednášok z 66. pracovného seminára Spoločnosti Ocelové pásy, 2009.
- [42] K. Kuzman, "Enviromental friendly lubricants in deep drawing of steel sheets metal", Report Enform project, Cejle, 2000.
- [43] E. Evin, *Vplyv fázového zloženia povlakov Fe-Zn na charakteristiky trenia pri lisovaní. Metal*, Ostrava Tanger, ISBN 9788025419878, 2008.
- [44] D.K. Aspinwall, M.L. Wise, H. K.J. Stout, , T.H.A. Goh, F.L. Zhao, M.F. El-Menshawy, "Electrical Discharge Texturing", *Int. J. Machine Tools + Manufacturing*, Vol. 32, No. 1-2, 1991, 183-193.
- [45] M. Godwin, "Application of new type of electro discharge texturing for surface preoaration of cold mill work rolls", *Proc 13th NAMRC (North AMER MANUF RES CONF) Berkeley, USA*, 1985, pp. 102-107.
- [46] J.A. McGeough, *Advanced methods of Machining*, London, Chapman and Hall, 1988.
- [47] D.K. Aspinwall, F.L. Zhao, M.F. El-Menshawy, "Electrodischarge Texturing (EDT) of Steel Rolls", *Surface Topography*, Vol. 2 , 1989, pp. 123-141.
- [48] C. Demare, J. Scheers, F. Lambert, M. Wermeulen, L. De Graef, Y. Gadeyn, "Development of the SIBETEX sheet having excellent drawability and paint appearance", *METALLURGICAL Research and Technology*, Vol. 94, 2017, pp. 827-836.
- [۴۹]. فورگی نژاد، ح. امیرآبادی، خ. خلیلی، "مدل سازی فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی با شبکه عصبی و بهینه سازی آن با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب"، *مجله مدل سازی در مهندسی*، دوره ۱۲، شماره ۳۷، ۱۳۹۳، صفحه ۱-۱۴.
- [۵۰]. ف. رنجبر، آ. قهرمانیان، ر. آذرافزا، "بررسی توزیع دمایی در ماشینکاری تخلیه الکتریکی قطعه کار استیل P20"، *مجله مدل سازی در مهندسی*، دوره ۹، شماره ۲۷، زمستان ۱۳۹۰، صفحه ۷۳-۷۹.
- [۵۱]. ح. امیرآبادی، ج. امیرآبادی، ج. عاشوری، ف. جعفریان، "بهینه سازی برشکاری جت آب همراه با ذرات ساینده با استفاده از روش شبکه عصبی - الگوریتم ژنتیک"، *مجله مدل سازی در مهندسی*، دوره ۸، شماره ۲۳، زمستان ۱۳۸۹، صفحه ۲۵-۳۵.

[۵۲] م. صادق عمل نیک، ف. مومنی، "طراحی الگوی شبکه عصبی برای پیش بینی صافی سطح و نرخ ماشینکاری و انتخاب بهینه متغیر های ماشین کاری در ساخت موتورها"، مجله علمی پژوهشی تحقیقات موتور، شماره ۱۰ و ۱۱، سال سوم، ۱۳۸۵، صفحه ۲۲-۱۲.

[۵۳] ز. مروج، ع. ا. عبدوس، م. پازکی، "ارائه یک روش هوشمند برای شناسایی و طبقه بندی وقایع کیفیت توان"، مجله مدلسازی در مهندسی، دوره ۹، شماره ۲۷، ۱۳۹۰، صفحه ۲۳-۳۶.