# انتخاب اتوماتیک فرایند و تکنولوژی جوشکاری با استفاده از نرم‌افزار .WELD-EXP

الیاس حدادی[1]، محمدرضا شبگرد[2]
Elyes_haddadi@yahoo.com

**چکیده**

طی چند دهۀ اخیر تغییر الگوی مصرف، تنوع و تجدد طلبی مصرف‌کنندگان، تعدد تولیدکنندگان و رقبا، تحولات و نوسانات سریع بازار، لزوم افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید را با استفاده از پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ضروری ساخته است. در این رابطه یکی از راه‌حل‌های ممکن جهت افزایش کیفیت و بهره‌وری استفاده از امکانات نرم‌افزاری در پیاده سازی سیستم‌های تولیدی می‌باشد. هدف این مقاله، انتخاب اتوماتیک فرایند و تکنولوژی جوش با استفاده از نرم‌افزار .WELD- EXP می‌باشد. در این نرم‌افزار تجارب و دانسته‌های افراد ماهر و خبره، بصورت قواعد و قوانین (Rule) در قالب یک سیستم خبره(Expert System)، پایگاه دانش(Knowledge Base) را تشکیل می‌دهد. این نرم‌افزار پس از تبادل اطلاعات و دریافت داده‌های مورد نیاز از کاربر، با بررسی و تجزیه و تحلیل لازم، بهترین فرایند یا فرایندهای جوشکاری را انتخاب و پیشنهاد می‌نماید و در نهایت جدول دستورالعمل جوشکاری ((Welding Process Specification (WPS) را پس از تأیید کاربر تکمیل و ارائه می‌کند. و بدین طریق موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌های ساخت و تولید قطعات می‌گردد.

**کلیدواژه**:

سیستم خبره - پایگاه دانش - مشخصات فرایند جوشکاری - انتخاب فرایند

---

1- عضو هیات علمی گروه مکانیک مرکز آموزش عالی فنی تبریز
2- عضو هیات علمی گروه مکانیک دانشگاه تبریز

## 1- مقدمه

سیستم خبره بخشی از فرایند اتوماتیک سازی هوشمندانه پروسه‌ها می‌باشد که ما به‌عنوان هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) از آن یاد می‌کنیم. زمانی که جان‌مک‌کارتی در سال 1960 در انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT) زبان لیسپ (Lisp) را بوجود آورد، اولین گام به سوی سیستم خبره بود. از آن تاریخ به بعد سیستم‌های خبره مختلفی در زمینه‌های متفاوت از جمله EXPERT، EMYCIN، OPS5، ROSIE، XI-PLUS، CMS و ...، ایجاد و مورد استفاده قرار گرفته‌اند [1]-[2]. یک سیستم خبره شامل پوسته (Shell) یا زبان مهندسی دانش ( Knowledge Engineering Language) و پایگاه دانش (Knowledge Base) می‌باشد. پوسته شامل موتور استنتاج (Inference Engine)، قسمت رابط بین سیستم و استفاده کننده(User Interface)، بانک اطلاعات کاری(Working Database) و امکانات توضیح( Explanation Facilities) است، ولی فاقد پایگاه دانش می‌باشد. پوسته زمانی به عنوان سیستم خبره مورد استفاده قرار می‌گیرد که پایگاه دانش آن تکمیل گردد. در پایگاه دانش از روش‌های مختلفی جهت ارائه دانش استفاده می‌شود، متداولترین روش‌ها عبارتند از سیستم‌های تولیدی(Production Systems)، سیستم‌های قابی(Frame Systems)، سیستم‌های منطقی(Logic Systems) و شبکه‌های مفهومی(Semantic Nets) می‌باشند[1]. در این بررسی با استفاده از پوستهٔ VPX، اطلاعات و داده‌های جوشکاری که پایگاه دانش برنامه را تشکیل می‌دهند نرم‌افزاری جهت انتخاب فرایند تکنولوژی جوشکاری طراحی و تهیه گردیده و در یک واحد صنعتی[1] جهت انتخاب فرایند ساخت قطعات مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب دقیق و آسان فرایند جوشکاری و پارامترهای آن از مزایای اصلی این نرم‌افزار می‌باشد.

## 2- انتخاب فرایند جوشکاری

در سیستم‌های سنتی انتخاب فرایند جوشکاری معمولاً مبتنی بر تجربیات افراد خبره می‌باشد. از معایب عمدهٔ این روش این است که، ممکن است به علل مختلف از جمله تنوع پارامترها، خسته بودن فرد خبره و ...، نکات جدید و مهم در انتخاب فرایند فراموش گردد. لذا امروزه سعی می‌گردد از سیستم‌های خبره جهت انتخاب اتوماتیک فرایند((Computer Aided Process Planning(CAPP) استفاده شود [1]، [2]، [3]، [4]. در این بررسی نرم‌افزار .WELD-EXP عمل انتخاب فرایند جوشکاری را در دو مرحله به شرح زیر انجام می‌دهد.

### 2-1- انتخاب فرایند یا فرایندهای مناسب

در این مرحله نرم‌افزار براساس حقایق (Facts) موجود که در قالب جداول مربوط به مشخصات و پارامترهای طراحی محصول (Product Design Attributes)، مشخصات فرایند، نوع محصول، مشخصات مواد و ضخامت قطعه کار می‌باشد، و با استفاده از سوالاتی که از کاربر می‌پرسد (شکل1)، با آتش(Fire) نمودن قواعد و قوانین پایگاه دانش، فرایندهایی را انتخاب می‌نماید که در برگیرنده تمامی مشخصات محصول مورد نظر است. همچنین در این مرحله جهت تعیین رابطه بین وضعیت جوشکاری، نوع اتصال و ... با نوع فرایند، از دانش موجود در جداول و قواعد و قوانین پایگاه دانش، استفاده می‌شود (جداول 1، 2، 3، 4، 5 و 6).

### 2-2- انتخاب بهترین فرایند از میان فرایندهای انتخابی

اگر در مرحلهٔ انتخاب فرایند، چندین نوع فرایند جوشکاری مناسب انتخاب گردد، جهت انتخاب بهترین فرایند از بین فرایندهای انتخابی این بخش از برنامه فعال می‌شود. دراین بخش از نرم‌افزار با توجه به داده‌های موجود در پایگاه دانش و با پرسیدن سوالاتی از کاربر در ارتباط با امکانات و تسهیلات موجود، قابلیت در دسترس بودن تجهیزات و ...، هزینه‌های هر کدام از فرایندها را محاسبه و در نهایت فرایندی که کمترین هزینه تمام شده را دارد، به عنوان نتیجهٔ تحلیل انتخاب و ارائه می‌نماید. در این مرحله از روابط مختلفی از جمله رابطهٔ زیر جهت انتخاب بهترین فرایند استفاده می‌شود[2]، [4]، [5].

$$C=\left[\frac{C_m}{1-f}+C_w\right]+\left[\frac{C_T}{n}\right]+\left[\frac{C_L}{n}\right] \qquad [1]$$

C: هزینهٔ تمام شدهٔ فرایند به ازاء یک قطعه کار

Cm: هزینهٔ مواد اولیه مصرفی از قبیل هزینهٔ الکترود مصرفی، گاز مصرفی و ... به ازاء یک قطعه کار

$C_w$: هزینهٔ انرژی مصرفی به ازاء یک قطعه کار

$C_T$: هزینهٔ ابزار و تجهیزات

$C_L$: هزینه‌های سربار

n: نرخ تولید در واحد زمان

f: هزینهٔ ضایعات

در صورتیکه تنها یک فرایند در مرحله نخست انتخاب شود نیازی به تحلیل هزینه در این مرحله نمی‌باشد بلکه فرایند انتخابی مرحلهٔ اول به عنوان مناسب‌ترین فرایند به کاربر معرفی می‌گردد.

1- نتایج حاصل از این نرم افزار در شرکت توسعه و گسترش صنعت آذربایجان مورد استفاده قرار گرفته است.

## 3- دستورالعمل جوشکاری (WPS)

قبل از هر فرایند جوشکاری باید دستورالعمل جوشکاری مخصوص آن فرایند تهیه گردد. دستورالعمل جوشکاری، یک روش کنترلی جهت تضمین صحت روش جوشکاری و تضمین کنندهٔ سلامتی جوش در یک فرایند جوشکاری مشخص می‌باشد [6]. این دستورالعمل در بردارنده مشخصات فلز پایه، فلز پرکننده، آماده سازی درز، موقعیت جوشکاری، روش و تکنیک جوشکاری و جریان الکتریکی است. همچنین شرایطی نظیر مشخصات جریان الکتریکی، اندازه الکترود، سرعت جوشکاری، درجه حرارت پیش گرمایش، درجه حرارت بین پاس‌ها و درجه حرارت پس گرمایش نیز در این دستورالعمل ارائه می‌گردد [6]، [7]، [8] (جدول 7).

## 4- نرم‌افزار .WELD-EXP و روش کار آن

نرم‌افزار .WELD-EXP شامل پوسته VPX و پایگاه دانشی است که براساس منابع علمی و تخصصی موجود در زمینه جوشکاری و با استفاده از تجارب افراد خبره تهیه گردیده است. این نرم‌افزار شامل حقایق و قواعد و قوانین مربوط به جوشکاری در قالب سیستم‌های تولیدی می‌باشد. روابط، جداول و سوالاتی که از کاربر می‌شود حقایق پایگاه دانش را تشکیل می‌دهند و قواعدی که با توجه به تجارب افراد خبره با درجهٔ اطمینان (Confidence Level) مشخصی استخراج شده‌اند قوانین پایگاه دانش را تشکیل می‌دهند. به عنوان مثال قاعدهٔ شمارهٔ 100 در صورت آتش شدن, براساس جنس قطعه‌کار و سایر مشخصات آن الکترود AWS-E6020 را با درجهٔ اطمینان 90% انتخاب می‌نماید.

```
RULE 100
IF  MAT=STEEL AND
CARBON – EQUIVALENT >0.0 AND
CARBON – EQUIVALENT <0.25 AND
QUALITY LEVEL = Acceptable quality AND
THICK > =5 AND
THICK <80
THEN ELECTRODE – STANDARD= AWS-E6020 CNF 90
ELECTRODE – STANDARD= AWS-E6027 CNF 80
```

کار نرم‌افزار با پرسیدن سوالات تخصصی از کاربر شروع می‌شود. جواب‌های کاربر یا از طریق منوهای مناسب انتخاب گردیده ویا بصورت متغیر عددی است. در گام نخست بعد از اتمام سوالات تخصصی، با استفاده از روش استنتاج پیش رونده، فرایند و یا فرایندهای مناسب جوشکاری انتخاب می‌گردد. در گام بعدی نرم‌افزار با پرسیدن سوالاتی در ارتباط با هزینه‌های هر کدام از فرایندها, پایگاه دانش را تکمیل نموده و براساس تحلیل هزینه‌های مربوط به مواد اولیه، هزینه‌های سربار، ضایعات و ...، از بین فرایندهای انتخابی بهترین فرایند را انتخاب می‌نماید. مرحله سوم نرم‌افزار، تکمیل و ارائه جدول دستورالعمل جوشـــکاری می‌باشد. فلوچارت شکل(2) الگوریتم نرم‌افزار .WELD-EXP را نمایش می‌دهد. به عنوان مثال جهت انتخاب فرایند و تکنولوژی جوشکاری مخزن ضربه گیر سیستم هیدرولیک کمباین که در شکل(3) نمایش داده شده است از این نرم‌افزار استفاده شده است. جهت جوشکاری این قطعه با توجه به شکل آن یک مکانیزم مخصوص طراحی شده است. این مکانیزم مثل ماشین تراش، قطعه کار را در حین جوشکاری قسمت B دوران داده و نازل جوشکاری مشعل را مثل ابزار در بالای درز جوش ثابت نگه‌می‌دارد و جهت جوشکاری قسمت A قطعه کار ثابت نگه داشته شده و نازل جوشکاری ابزار با سرعت پیشروی ثابت حرکت خطی خواهد کرد. جهت انتخاب نوع فرایند جوشکاری و ارائهٔ جدول WPS طبق الگوریتم نشان داده شده در شکل(2)، ابتدا براساس مشخصات قطعه کار از قبیل جنس قطعه کار (فولاد کم‌کربن)، ضخامت قطعه کار (پنج میلیمتر)، نوع اتصال (لب به لب)، وضعیت جوشکاری (تخت)، روش جوشکاری (اتوماتیک)و سطح کیفیت (قابل قبول)، MIG/MAG به عنوان مناسب‌ترین روش‌های جوشکاری انتخاب گردیدند و با توجه به اینکه هر دو روش جوشکاری کیفیت قابل قبولی را ارائه می‌دهند، لذا بخاطر ارزان بودن گاز $CO_2$ (که قیمت آن حدوداً یک سوم قیمت گاز آرگون می‌باشد) از روش جوشکاری MAG استفاده می‌شود.

## 5- نتیجه

افزایش دقت، سرعت، کیفیت و رقابت در تولید، همزمان با لزوم کاهش هزینه‌ها، تولیدکنندگان را مجبور نموده است جهت رسیدن به تولید اقتصادی، حداکثر تلاش خویش را به منظور نیل به اتوماسیون و بهره‌مند شدن از مزایای آن بکار گیرند. در این میان بخاطر وابستگی بیشتر صنعت جوشکاری به تجربیات افراد خبره، تدوین اتوماتیک فرایند و دستورالعمل جوشکاری از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد که می‌بایست مورد توجه خاص صاحبان صنایع و تکنولوژی قرار گیرد.

در این بررسی، نـرم‌افـزار WELD-EXP در راسـتای نیـل به اتومـاسیون و انتـــخاب اتومـــاتیک فـــرایند و دستورالعمل جوشکاری تهیه و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. نرم‌افزار فوق در مراحل اولیه طراحی بوده و لازم است به تدریج کاملتر گردد، تبدیل مقادیر کیفی به کمی و توسعه و تکمیل جدول دستورالعمل جوشکاری (WPS)، استفاده از منطق فازی و شبکه‌های عصبی جهت پیش بینی درجه اطمینان برای تمامی فرایندها از مواردی است که می‌تواند در مراحل توسعهٔ نرم‌افزار مورد توجه قرار گیرد. کاربرد این نرم‌افزار در صنعت، نشان می‌دهد که عمل انتخاب فرایند و ارائه جدول دستورالعمل

جوشکاری توسط سیستم خبره .WELD-EXP از جنبه سرعت، کیفیت و دقت نسبت به روش‌های سنتی و تجربی از ارجحیت فوق العاده‌ای برخوردار است. همچنین با توجه به کمبود اطلاعات تجربی در زمینهٔ جوشکاری، ضروری به نظر می‌رسد اطلاعاتی که مبتنی بر تجربهٔ افراد خبره می‌باشد (مخصوصاً در ارتباط با جدول دستورالعمل جوشکاری) در فرایندهای MIG و TIG کاملتر شود.

جدول (1): انتخاب فرایند بر اساس جنس قطعه‌کار [4]-[7]

| Material Types / Groups of Welding Process | Low carbon steel | Medium carbon steel | High carbon steel | Cast iron | Copper | Stainless steel | Alloy stel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cold welding | | | | | × | | |
| Diffusion welding | | | | | | | |
| Explosion welding | × | × | × | | × | | |
| Friction welding | × | × | × | | × | × | × |
| Ultrasonic welding | × | × | × | | × | | |
| Forge welding | × | × | × | | | | |
| Hot pressure welding | | | | | | | |
| Induction butt | × | × | × | | × | | |
| Plasma | × | × | × | | × | × | |
| Gas welding | × | × | × | × | × | × | |
| Brazing | × | × | × | × | × | × | |
| Soldering | × | × | × | | × | × | |
| Thermit | × | × | × | × | × | × | × |
| Seam welding | × | | | | | × | × |
| Falsh welding | × | | | × | × | × | × |
| H. f. resistance | × | | | | | × | × |
| Electro-slag | × | × | × | | | | |
| Projection | × | | | | | | × |
| Percussion | | | | | | | |
| Spot welding | × | × | × | | × | × | |
| Stud arc | × | × | | | | × | × |
| Plasma arc | × | × | × | | × | × | × |
| Carbon arc | × | | | | × | | |
| Submerged arc welding | × | × | × | | | × | |
| Shielded metal arc(MMA) | | | | | × | | |
| Flux cored arc | × | × | × | | | × | |
| Gas metal arc(MIG/MAG) | × | × | × | | | × | |
| Gas tungsten arc(TIG) | × | × | × | | × | × | × |
| Laser beam | × | × | × | × | × | × | × |
| Electron beam | × | × | × | × | × | × | × |

جدول (2): انتخاب فرایند بر اساس ضخامت قطعه‌کار (mm) [4]-[7]-[8]

| Material Thickness / Groups of Welding Process | …1-1.5 | 1.5-3 | 3-6 | 6-10 | 10-12 | 12-15 | 15-25 | 25-30 | 30-38mm… |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Shielded metal arc(MMA) | | × | × | × | × | × | | | |
| Gas metal arc(MIG/MAG) | | | × | × | × | × | × | × | × |
| Gas tungsten arc(TIG) | × | × | × | × | | | | | |
| Submerged arc welding | | | | × | × | × | × | | |
| Electro-slag | | | | | | | | × | × |
| ... | | | | | | | | | |

جدول (3): انتخاب فرایند بر اساس نوع اتصال[4]-[7]

| Joint Types / Groups of Welding Process | Butt | Comer | Tee | Lap | Edge |
|---|---|---|---|---|---|
| Shielded metal arc(MMA) | × | × | × | × | × |
| Gas metal arc(MIG/MAG) | × | × | × | × | × |
| Gas tungsten arc(TIG) | × | × | × | × | × |
| Submerged arc welding | × | × | × | | |
| Electro-slag | × | × | × | | |
| ... | | | | | |

جدول (4): انتخاب فرایند بر اساس وضعیت جوشکاری[ 4] -[7]

| Welding Position / Groups of Welding Process | Flat | Horizontal | Vertical | Overhead |
|---|---|---|---|---|
| Shielded metal arc(MMA) | × | × | × | × |
| Gas metal arc(MIG/MAG) | × | × | × | × |
| Gas tungsten arc(TIG) | × | × | × | × |
| Submerged arc welding | × | × | × | × |
| Electro-slag | × | × | × | × |
| ... | | | | |

جدول (5): انتخاب فرایند بر اساس درجه اتوماسیون[4]

| Methods of Use / Groups of Welding Process | Manual | Semi-automatic | Automatic |
|---|---|---|---|
| Shielded metal arc(MMA) | × | | |
| Gas metal arc(MIG/MAG) | × | × | × |
| Gas tungsten arc(TIG) | × | - | - |
| Submerged arc welding | × | × | × |
| Electro-slag | × | | |
| … | | | |

جدول (6): سطح کیفیت هر فرایند[4]

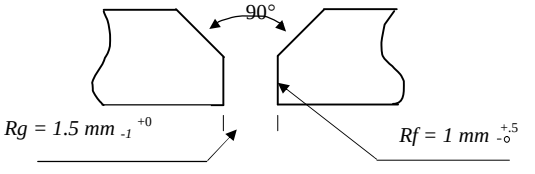
| Quality Levels / Groups of Welding Process | Very high quality | High quality | Good quality | Acceptabl quality | Poor quality |
|---|---|---|---|---|---|
| Shielded metal arc(MMA) | | | | × | × |
| Gas metal arc(MIG/MAG) | | | | × | × |
| Gas tungsten arc(TIG) | | | | × | × |
| Submerged arc welding | | | | × | × |
| Electro-slag | | × | × | | |
| ... | | | | | |

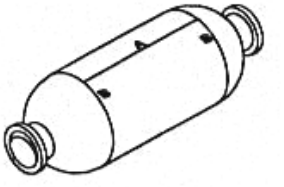
جدول (7): جدول دستورالعمل جوشکاری [۹]

Typical Procedure Sheet for Manual Welding

| Order No: | Drawing No: | Sheet No: | Joint Ref: |
|---|---|---|---|
| Process: MAG | | Material: Low Carbon Steel | |

Joint Preparation



مخزن ضربه گیر سیستم هیدرولیک کمباین

Welding Conditions

| Electrode | Consumable | Pass No. | Electrode Size (mm) | Filler Diam. (mm) | A.C. or Polar. | Amps | Volts | Wire Feed Speed M/min | Position |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Specification | Filler NO: 5356 | 1 | 2.4 | 2.4 | A.C. | 350 | 40 | 4 - 6 | F |

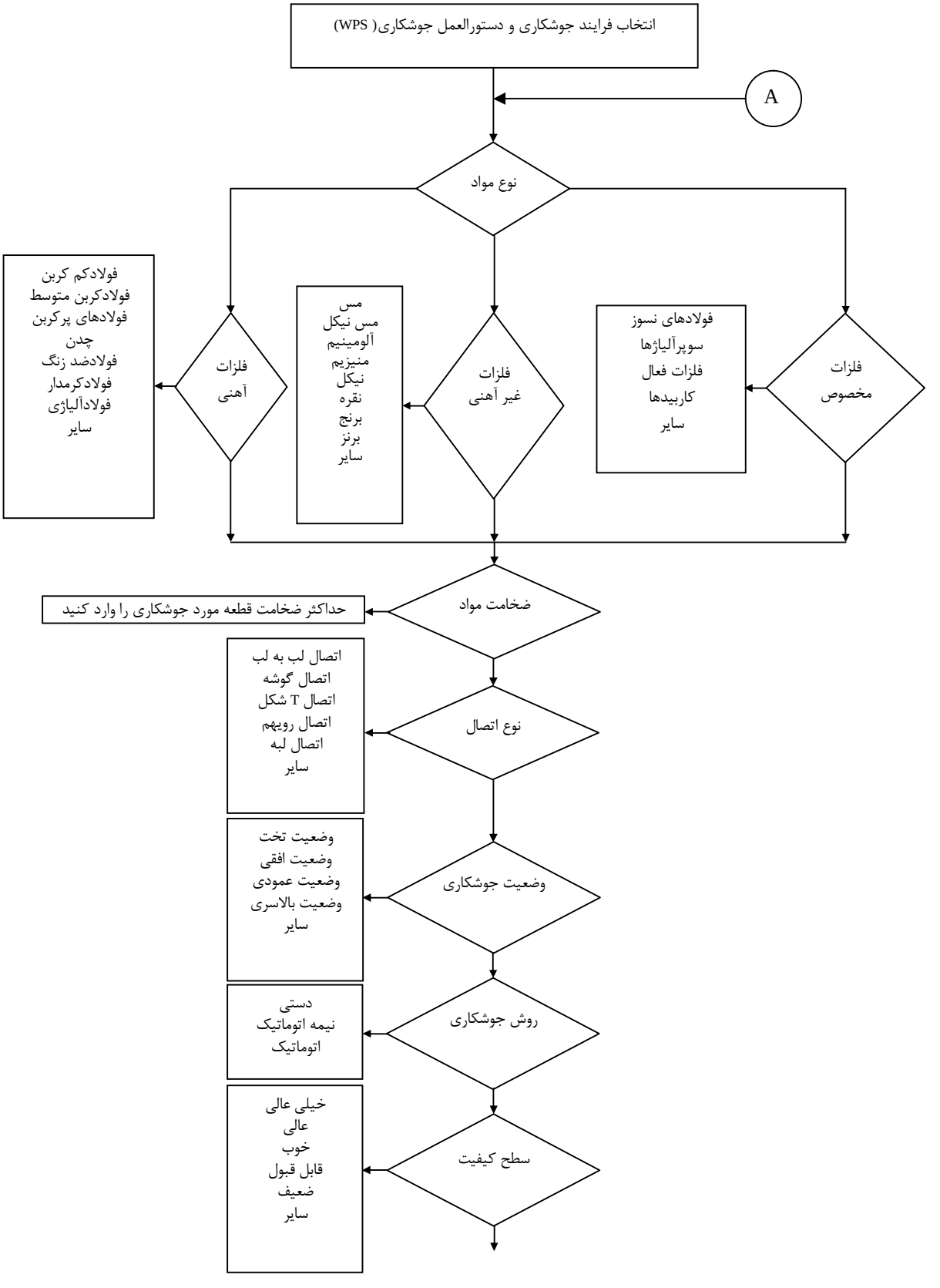
| Drying Method N.A. | Shielding Gas $CO_2$ | Flow Rate 7 Lit./min | Fluxe N.A. | Cleaning Vapour Degrease |
|---|---|---|---|---|

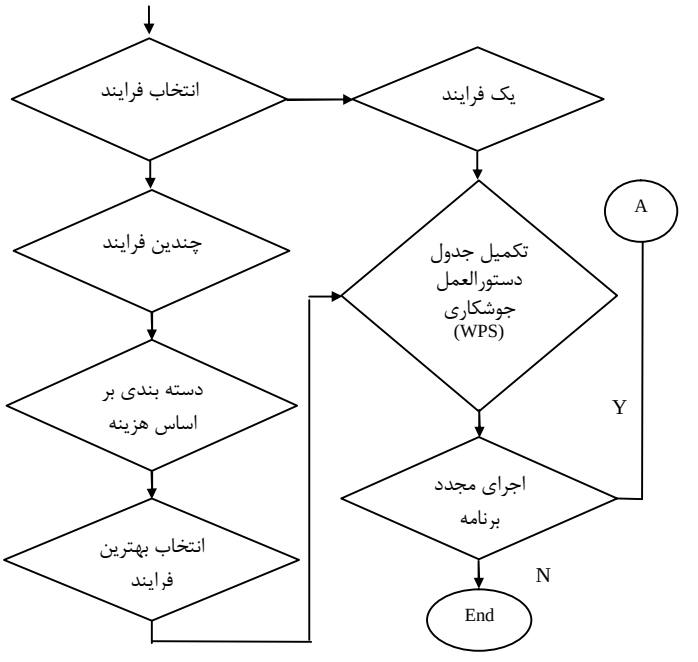
| Preheat: None | Inspection |
|---|---|

| Interpass Temperature None | Standard Customer Specification | Method<br>Visual **S**<br>Ultrasonic **£**<br>Dye Penetrant **S**<br>Magnetic Particle **£** |
|---|---|---|
| Post Heat<br>None | Inspecting Authority<br>Customer's Representative | |

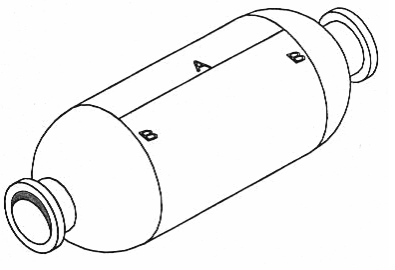
```
ASK MAT: "WHAT TYPE OF MATERIAL?";
MAT CHOICES: STEEL, CASTIRON;
ASK THICK: "WHAT IS THE MATERIAL THICKNESS mm?";
ASK WORKING- TEMPRATURE: "WHAT IS THE WORKING TEMPRATURE c?";
ASK C: "WHAT IS THE QUANTITY OF CARBON?";
ASK CR: "WHAT IS THE QUANTITY OF CHROMIUM?";
ASK MN: "WHAT IS THE QUANTITY OF MANGANESE?";
ASK MO: "WHAT IS THE QUANTITY OF MOLYBDENUM?";
ASK NI: "WHAT IS THE QUANTITY OF NICKEL?";
ASK TENSILE STRENGTH: "HOW MUCH TENSILE STRENGTH N/mm_2?";
ASK QUALITY_REQUIRMENT: "QUALITY_REQUIRMENT:";
QUALITY_REQUIRMENT CHOICES: GOOD, VERY_GOOD, EXCELENT;
ASK STEEL_GRADE: "TYPE OF STEEL_GRADE?";
STEEL_GRADE CHOICES: AISI , 301 , 302 , 304 , 308 , 321 , 347 , 304L , 316 , 318, ASTM, A203A,
A203D, A302A, A302C, A302D, A353, A553, A533B, A537B, A543, A514, A517, NONE;
```

شکل(1): نمونه‌ای از سوالات درخواستی از کاربر


انتخاب فرایند جوشکاری و دستورالعمل جوشکاری( WPS)
A
نوع مواد
فلزات مخصوص
فولادهای نسوز
سوپرآلیاژها
فلزات فعال
کاربیدها
سایر
فلزات غیر آهنی
مس
مس نیکل
آلومینیم
منیزیم
نیکل
نقره
برنج
برنز
سایر
فلزات آهنی
فولادکم کربن
فولادکربن متوسط
فولادهای پرکربن
چدن
فولادضد زنگ
فولادکرمدار
فولادآلیاژی
سایر
ضخامت مواد
حداکثر ضخامت قطعه مورد جوشکاری را وارد کنید
نوع اتصال
اتصال لب به لب
اتصال گوشه
اتصال T شکل
اتصال رویهم
اتصال لبه
سایر
وضعیت جوشکاری
وضعیت تخت
وضعیت افقی
وضعیت عمودی
وضعیت بالاسری
سایر
روش جوشکاری
دستی
نیمه اتوماتیک
اتوماتیک
سطح کیفیت
خیلی عالی
عالی
خوب
قابل قبول
ضعیف
سایر




شکل (2): نمودار انتخاب فرایند و جدول دستورالعمل جوشکاری (WPS)




شکل (3): مخزن ضربه گیر سیستم هیدرولیک کمباین

## 6- مراجع


[1] DONALD A. WATERMAN "A GUIDE TO EXPERT SYSTEMS" ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY 1986.

[2] A. M. K. ESAWI AND M. F. ASHBY "THE DEVELOPMENT AND USE OF A SOFTWARE TOOL FOR SELECTING MANUFACTURING PROCESSES AT THE EARLY STAGES OF DESIGN" PROCEEDING OF THE THIRD BIENNIAL WORLD CONFERENCE ON (IDPT), BERLIN, GERMANY, 1998, VOLUME 3, PP 210-217.

[3] S. FRIEDRICH AND M. GARGANO "EXPERT SYSTEMS DESIGN AND DEVELOPMENT" JOHN WILEY & SONS, INC. 1989.

[4] S. M. DARWISH, A. ALTAMIMI AND S.AL-HABDAN "A KNOWLEDGE BASE FOR METAL WELDING PROCESS SELECTION" INT. J. MACH. TOOLS MANUFACT. VOL. 37, NO. 7, PP. 1007-1023, 1997.

[5] A. M. K. ESAWI AND M. F. ASHBY "COST- BASED RANKING FOR MANUFACTURING PROCESS SELECTION" PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON (IDMME'98) FRANCE, 1998, VOL 4, PP 1001-1008.

[6] RONALD E. GIACHETTI "A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MATERIAL AND MANUFACTURING PROCESS SELECTION" THE JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING, 2002.

[7] DR. R. S. PARMAR "WELDING ENGINEERING AND TECHNOLOGY" KHANNA PUBLISHERS 1999.

[8] O. P. KHANNA "A TEXT BOOK OF WELDING TECHNOLOGY" DHANPAT RAI PUBLISHERS 2001.

[9] LM GOURD "PRINCIPLES OF WELDING TECHNOLOGY" KHANNA PUBLISHERS,THIRD EDITION, 1998.