

## فصل ۱

### تولید لوله‌های درز دار و جوشکاری HF

#### ۱-۱ مقدمه

امروزه جوشکاری به روش‌های بسیار متنوعی مانند:

1. TIGW: Tungsten Inert Gas Welding
2. PAW: Plasma Arc Welding
3. SAW: Submerged Arc Welding
4. LBW: Laser Beam Welding
5. HFW: High Frequency Welding

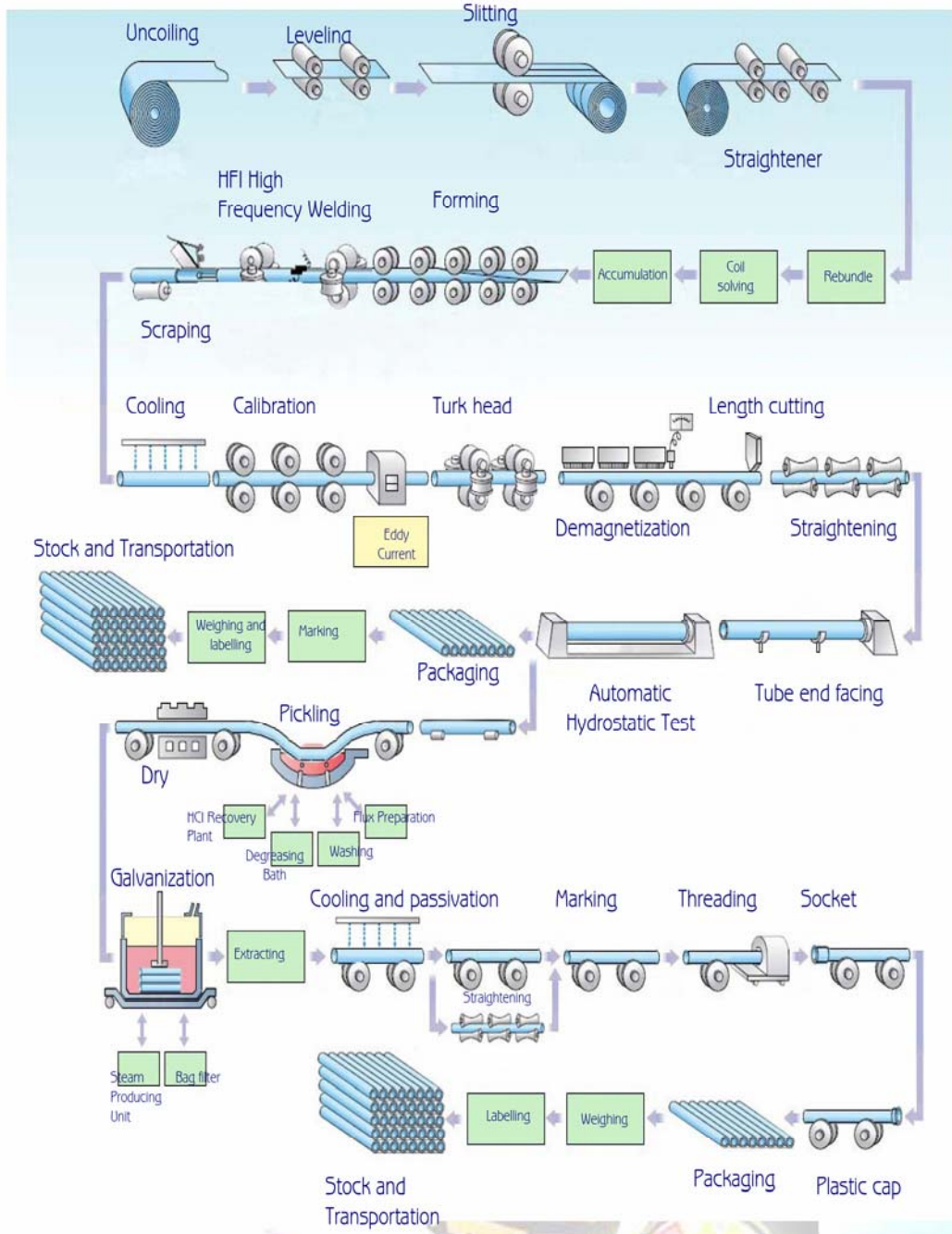
انجام می‌شود، اما یکی از سریعترین روش‌های که نیاز به ماده پرکننده ندارد، روش HFW می‌باشد که خود به دو نوع

1. HF ERW(High Frequency Electric Resistance Welding)
2. HF IW(High Frequency Induction Welding)

تقسیم می‌شود و توجه زیادی را به خود جلب نموده است [۳]، البته لازم به ذکر است این نام گذاری برای جدا نمودن این دو نوع از یکدیگر است و در ادامه از واژه HF ERW یا HFW برای هر دو مورد ممکن استفاده شود مگر در موارد خاص که خصوصیت غیر مشترکی را بخواهیم ذکر نمایم.

## ۲-۱ فرآیند تولید لوله درز دار

برای تولید لوله درز دار (شکل ۱-۱)، ورق‌های فولادی به اندازه دالخواه برش خورده و به کمک دستگاه‌های Forming به شکل یک لوله دارای درز در آمده، سپس محل درز، جوش داده می‌شود و در ادامه‌ی عملیات، عملیات حرارتی، Forming (در صورت لزوم) و برش بر روی لوله انجام می‌شوند.



شکل ۱-۱ رویه ساخت لوله درز دار

### ۳-۱ عملیات جوشکاری

پس از فرم دهی ورق، محل درز را توسط یک روش جوشکاری پیوسته با مزیت اقتصادی مناسب مانند روش‌های جوشکاری HF ERW و یا HF IW با قدرتی در محدوده چند صد کیلو وات و فرکانس کاری چند صد کیلو هرتز جوش می‌دهند [۴].

عملیات جوشکاری هم چنانی که در شکل‌های ۲-۱ و ۳-۱ و ۴-۱ دیده می‌شود، شامل دو قسمت است:

۱- عملیات مکانیکی

۲- عملیات حرارتی

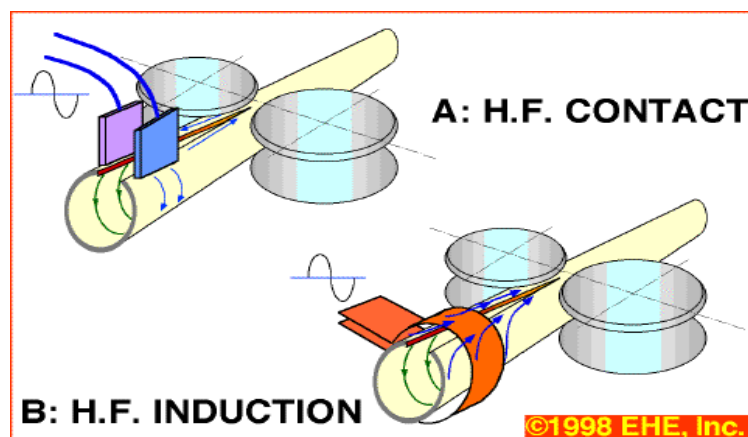
عملیات مکانیکی شامل اعمال نیروی مناسب به قطعه کار است، که موجب نزدیک شدن و اتصال دو لبه به یکدیگر و دفع مواد نامطلوب در حین عملیات حرارتی از ناحیه اتصال دو لبه می‌شود.

برای اعمال فشار مناسب، از دو غلتک در دو طرف قطعه کار استفاده می‌شود، که برای تنظیم فشار باید غلتک‌های دو طرف قطعه کار تنظیم شوند.

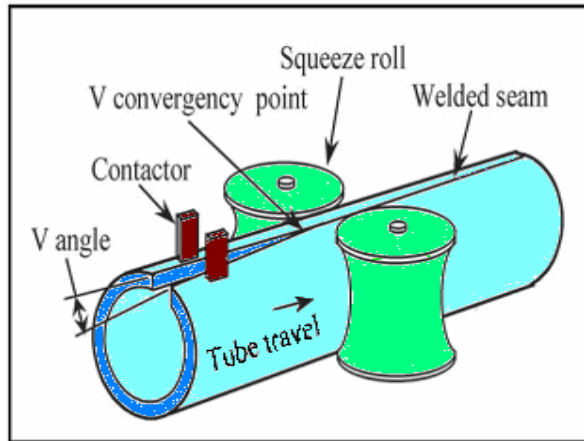
برای انجام یک عملیات حرارتی مناسب، اولاً باید حرارت بطور بهینه تولید شود و ثانیاً باید حرارت تولیدی به منطقه مورد نظر بطور بهینه اعمال شود، اعمال بخش عمده‌ی از حرارت به لبه‌های قطعه کار یکی از شرایط بهینه بودن عملیات حرارتی است که این موضوع توسط روش HFW قابل انجام است. در شکل‌های اشاره شده، روش انتقال انرژی الکتریکی لازم برای ایجاد حرارت دیده می‌شود.

هم چنان که در شکل ۲-۱ دیده می‌شود، یک ولتاژ با دامنه مناسب و فرکانس زیاد به محل‌های اتصال و یا القاگر اعمال می‌شود و با توجه به امپدانس بار الکتریکی، جریانی با فرکانس ولتاژ اعمالی از قطعه عبور می‌کند.

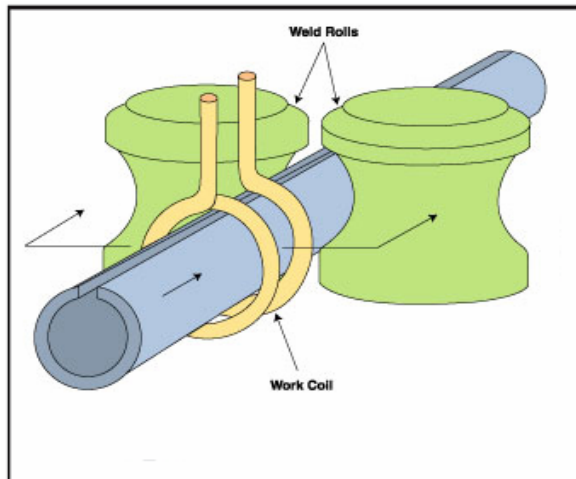
در شکل ۲-۱ جریان الکتریکی با پیکان‌های آبی و سبز و لبه‌های حرارت داده شده با رنگ‌های نارنجی و قرمز دیده می‌شوند.



شکل ۲-۱ اعمال یک ولتاژ با فرکانس زیاد به محل جوش توسط اتصال دهنده‌ی فرکانس زیاد و یا القاگر



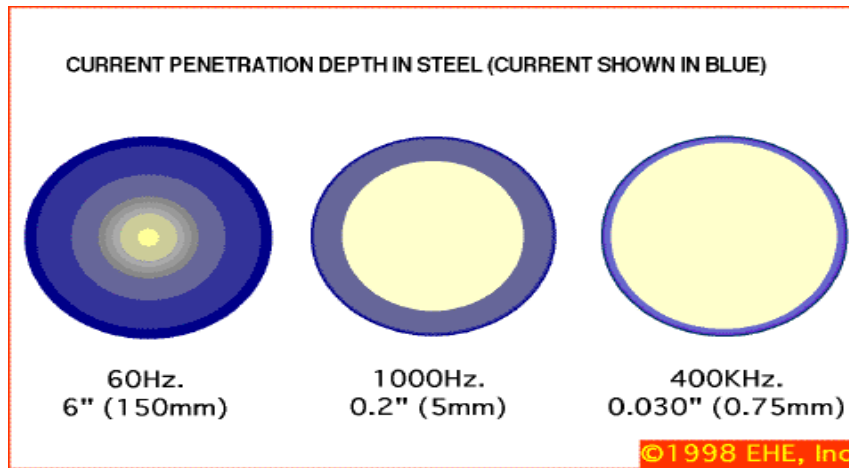
شکل ۱-۳ نمودار اجمالی یک سیستم جوشکاری مقاومت الکتریکی فرکانس زیاد



شکل ۱-۴ نمودار اجمالی یک سیستم جوشکاری القایی فرکانس زیاد

تفاوت عمده‌ی دو روش جوشکاری فرکانس زیاد، در قطر لوله‌ی قابل جوشکاری و روش انتقال جریان به قطعه کار است [۵] و از مزایای هر دو روش عدم نیاز به ماده پرکننده است [۳].  
در هر دو روش راهکار ایجاد حرارت مشابه است و در ادامه، این موضوع بررسی خواهد شد.

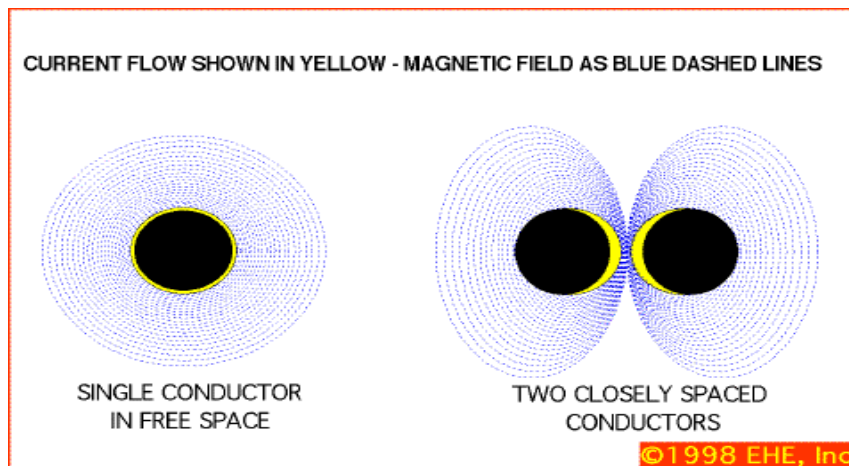
۴-۱ راهکار ایجاد حرارت در لبه‌ی قطعه کار



شکل ۵-۱ اثر سطحی در فرکانس بالا

همان طوری که در شکل ۵-۱ دیده می‌شود، در فرکانس‌های زیاد جریان الکتریکی از سطح خارجی هادی عبور می‌نماید که به اثر سطحی معروف است. بنابراین، افزایش فرکانس، یک عامل موثر بر افزایش اثر سطحی، کاهش سطح موثر هادی و افزایش مقاومت الکتریکی است [۶].

هم چنین به دلیل مجاورت دو لبه، توزیع جریان در سطح تغییر نموده و در نتیجه مقدار جریان در دو لبه‌ی مجاور افزایش قابل توجهی خواهد داشت، که این موضوع در شکل ۶-۱ بصورت مناطق زرد فام دیده می‌شود [۷].



شکل ۶-۱ اثرات سطحی و مجاورتی در فرکانس زیاد

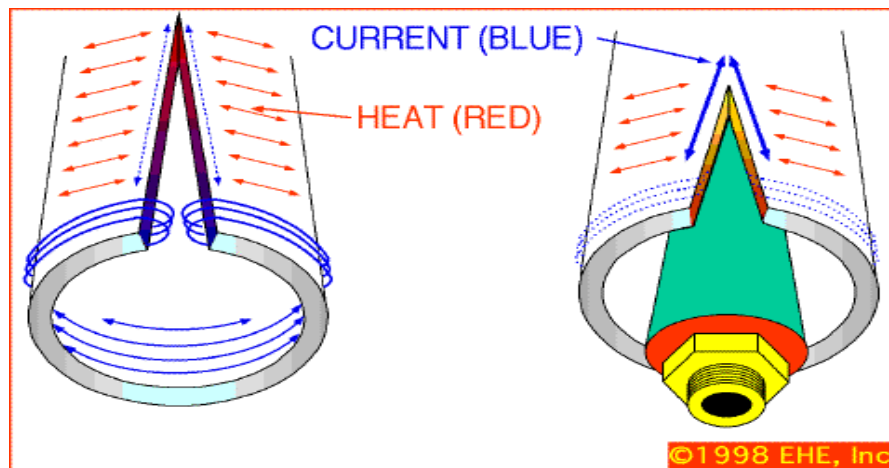
اثرات سطحی و مجاورتی، موجب افزایش مقاومت و جریان الکتریکی در لبه‌ها شده و با توجه به رابطه توان:

$$P = R.I^2$$

۱-۱

افزایش شدید توان و حرارت را در لبه‌ها به دنبال دارد، حرارت فوق موجب افزایش دمای قطعه کار در لبه‌ها شده و عمل جوشکاری با فشار دو غلتک به دو لبه درز که در دمای ۹۰۰ الی ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند، صورت می‌گیرد [۴،۵،۸،۹].

مسیر عبور جریان الکتریکی و حرارت در شکل ۷-۱ برای هر دو نوع HF ERW و HF IW نشان داده شده است [۱۰].



شکل ۷-۱ جریان و حرارت جوشکاری

سرعت ساخت لوله در این نوع خطوط تولید می‌تواند بیش از ۳۰۰ متر بر دقیقه باشد [۴] که سرعتی نسبتاً زیاد است، اما در حال حاضر این سرعت بسیار کمتر از این مقدار می‌باشد، دلیل این موضوع در ادامه مطلب بررسی خواهد شد.

## ۵-۱ مشکلات سیستم‌های Feed Forward

در سیستم‌های فعلی تولید، بیشتر از روش Feed Forward [۱۱] برای کنترل فرآیند تولید استفاده می‌شود، این نوع سیستم‌ها فاقد خود مختاری [۱۲] بوده و ضرر و زیان زیادی به بار می‌آورند و کارایی کمی بر کنترل صحیح فرآیندهای تولید دارند.

در سیستم‌های با روش کنترلی Feed Forward، جهت کنترل محصول نهایی از آزمایش‌های مخرب و غیر مخرب مانند X-ray و Ultrasonic بهره گرفته می‌شود [۵]، اما با توجه به تاخیر زمانی زیاد از زمان تولید تا آزمایش، نتایج آزمایشات فوق، کارایی در افزایش سرعت خط نداشته و بطور معمول بخش قابل توجهی از محصولات معیوب خواهند بود [۱۱].

در خطوط تولید مبتنی به روش Feed Forward، چنان چه در قسمتی از مراحل تولید، قطعه کار مبتلا به عیب و نقص شود، احتمال بروز صدمات شدید و پر هزینه در همه نقاط خط افزایش می‌یابد و گاهی اوقات تولید تا ساعت‌ها برای رفع عیب متوقف می‌شود.

## ۶-۱ سیستم‌های مبتنی بر Feedback

یک عامل خود مختار [۱۲] با داشتن ادراکی مناسب از محیط مورد نظر، با اعمال Feedback مناسب به محیط، می‌تواند کنترلی کارا و موثر بر سیستم داشته باشد، عامل مورد نظر ممکن است یک عامل انسانی و یا یک عامل غیر انسانی باشد. اما یک عامل انسانی به تنهایی و بدون کمک نمی‌تواند از عهده کنترل صحیح و کامل سیستم برآید و چنین خواسته‌های غیر منطقی است [۱۲] زیرا:

- ۱- سرعت خط تولید بسیار زیاد است، بنابراین عامل ادراک مناسبی نسبت به آن ندارد، زیرا برای آنکه دقت کافی بر روی قطعه کار داشته باشد، باید از یک فاصله بسیار نزدیک، قطعه کار را مورد مشاهده قرار دهد، که این موضوع به دلایل مختلف ممکن نیست، مشاهده‌ی قطعه کار از فاصله ۲۰ سانتی متری با سرعت ۳۰۰ متر بر دقیقه، مشابه مشاهده حرکت یک هواپیمای جت با سرعت ۱۸۰۰ کیلومتر بر ساعت در فاصله ۳۰ متری است، در این صورت انتظاری کاملاً غیر منطقی و غیر ممکن است که از عامل تشخیص هویت خلبان را بخواهیم.
- ۲- سرعت خط تولید بسیار زیاد است و عامل اثر گذار مناسب برای پاسخ مناسب در اختیار ندارد [۱۳، ۱۴].
- ۳- شرایط محیطی [۱۲] بسیار نامناسب و خطرناک است (شکل ۱-۸).
- ۴- عامل تداوم لازم و کافی را در امر کنترل بر سیستم دارا نیست.

با توجه به آن چه بیان شد، دو راهکار کلی را می‌توان برای کنترل بر سیستم در نظر گرفت:

- ۱- مبتنی بر عامل انسانی
- ۲- مبتنی بر عامل غیر انسانی



شکل ۸-۱ سیستم جوشکاری القایی

#### ۷-۱ کنترل سیستم مبتنی بر عامل انسانی

در این حالت، تجهیزات برای کمک به عامل انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرند و تصمیم نهایی را عامل انسانی گرفته و بطور مستقیم بر سیستم اثر می‌گذارد.

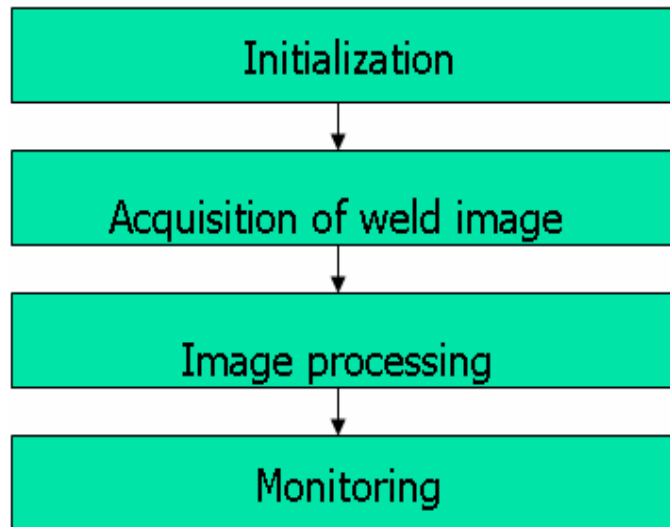
تجهیزات بکار رفته مذکور به دو صورت قابل بکارگیری است:

- ۱- کمک به عامل انسانی با استفاده از دیده بانی (Monitoring) [۵].
- ۲- کمک به عامل انسانی با استفاده از دیده بانی و هشدار (Alarm) [۱۱].

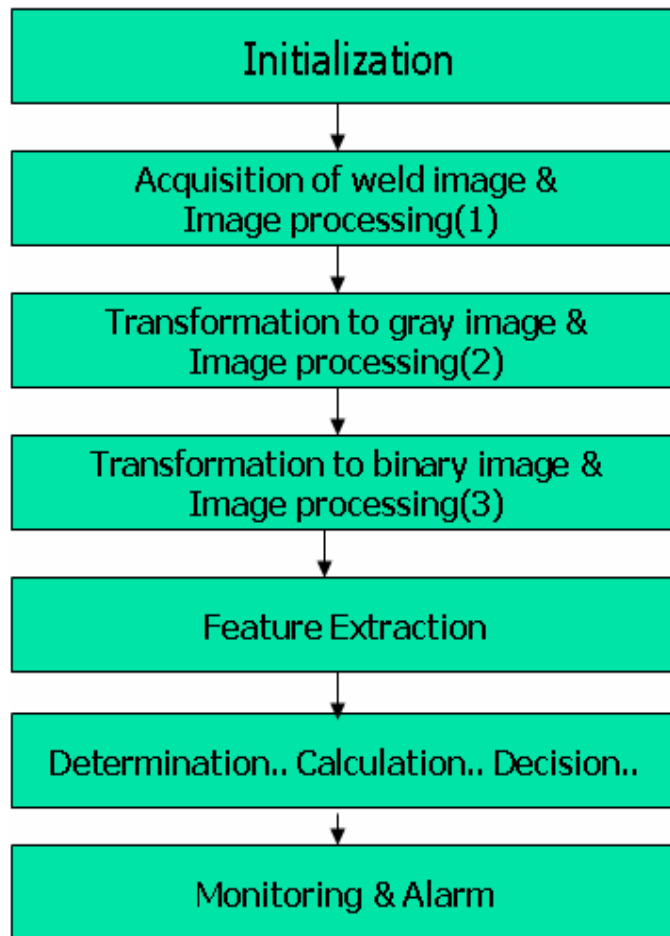
#### ۱-۷-۱ دیده بانی

در این شیوه فقط در جهت دید بهتر به عامل انسانی کمک می‌شود، برای این منظور از یک پارامتر وابسته به کیفیت جوش استفاده می‌شود، مانند تغییرات فرکانس نوسان ساز مولد [۱۱] و یا تصویر برداری به کمک یک دوربین سریع [۱۵] از منطقه جوشکاری، که پس از پردازش‌های لازمه، عوامل نامطلوب از تصویر حذف شده و در نهایت برای عامل انسانی به نمایش در می‌آید (شکل ۹-۱) [۵].





شکل ۹-۱ رویه دیده بان



شکل ۱۰-۱ رویه دیده بان و هشدار

## ۱-۷-۲ دیده بانی و هشدار

در راه کار اول عامل باید بطور مداوم نظاره گر فرایند جوشکاری باشد، این مداومت در مشاهده و دقت در موضوع، موجبات خستگی سریع عامل را فراهم آورده و او را از انجام صحیح وظایفش باز می‌دارد [۱۴].  
اما اگر سیستم دارای هشدارهای مناسب باشد، دیگر نیاز به مراقبت همیشگی از سوی عامل نیست و فقط عامل در مواردی خاص باید به صفحه Monitor مراجعه و تصمیم درست را اتخاذ نماید (شکل ۱-۱۰).

## ۱-۸ سیستم مبتنی بر عامل‌های غیرانسانی

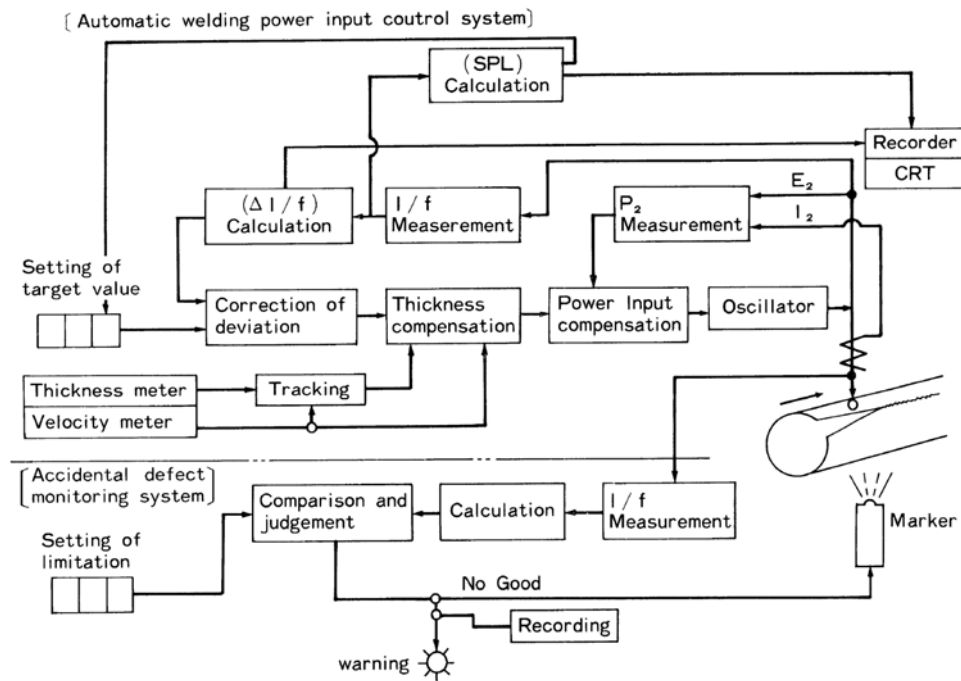
پاره‌ای از محدودیت‌ها و مشکلات یک عامل انسانی که او را در تصمیم‌گیریها و کنترل بر یک سیستم ناکارآمد می‌نمایند عبارتند از:

- ۱- خستگی
- ۲- سرعت پاسخ [۱۴، ۱۳]
- ۳- عدم امکان حضور پیوسته
- ۴- حالات روحی و روانی
- ۵- دقت

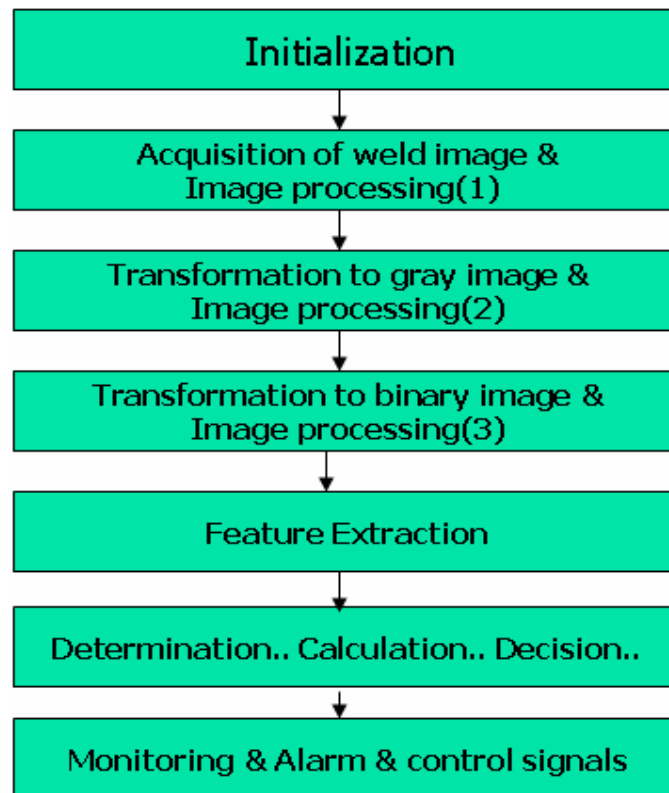
محدودیت‌های ذکر شده به شدت به یکدیگر وابسته‌اند و پاره‌ای از آثار منفی این وابستگی عبارتند از:

- ۱- از بین رفتن صد درصد کنترل
- ۲- ضرر و زیانهای غیر قابل جبران
- ۳- صدور فرامین اشتباه و افزایش صدمات

عامل‌های غیر انسانی مناسب، هیچکدام از محدودیت‌های ذکر شده را نداشته و می‌توانند کمک بسیار موثری برای عوامل انسانی باشند و در صورت لزوم، در تصمیم‌گیری شرکت داده شوند. در شکل ۱-۱۱ نمونه‌ای از این نوع سیستم آورده شده است.



شکل ۱۱-۱ نمودار اجمالی سیستم کنترل خودکار توان ، دیده بانی و هشدار نقایص پیش آمده



شکل ۱۲-۱ رویه دیده بانی، هشدار و سیگنال‌های کنترل

در شکل ۱-۱۱ یک سیستم کنترل خودکار مجهز به دیده بانی که مبتنی بر تغییرات فرکانس نوسان ساز می‌باشد دیده می‌شود [۱۱].

در شکل ۱-۱۲ رویه یک سیستم کنترل خودکار مجهز به هشدار و نمایش مبتنی بر تصویر برداری از پدیده جوشکاری دیده می‌شود.

از جمله نکات اساسی آنست که چگونه می‌توان ادراک مناسب را برای عامل فراهم آورد تا عامل قادر به کنترل جوش و جوشکاری باشد و کدام متغیر، قابل اعتماد و قابل اندازه گیری است و حس گرهای مناسب برای رسیدن به این هدف کدامند.

## فصل ۲

### کنترل جوشکاری HF ERW و تحقیقات انجام گرفته

#### ۱-۲ مقدمه

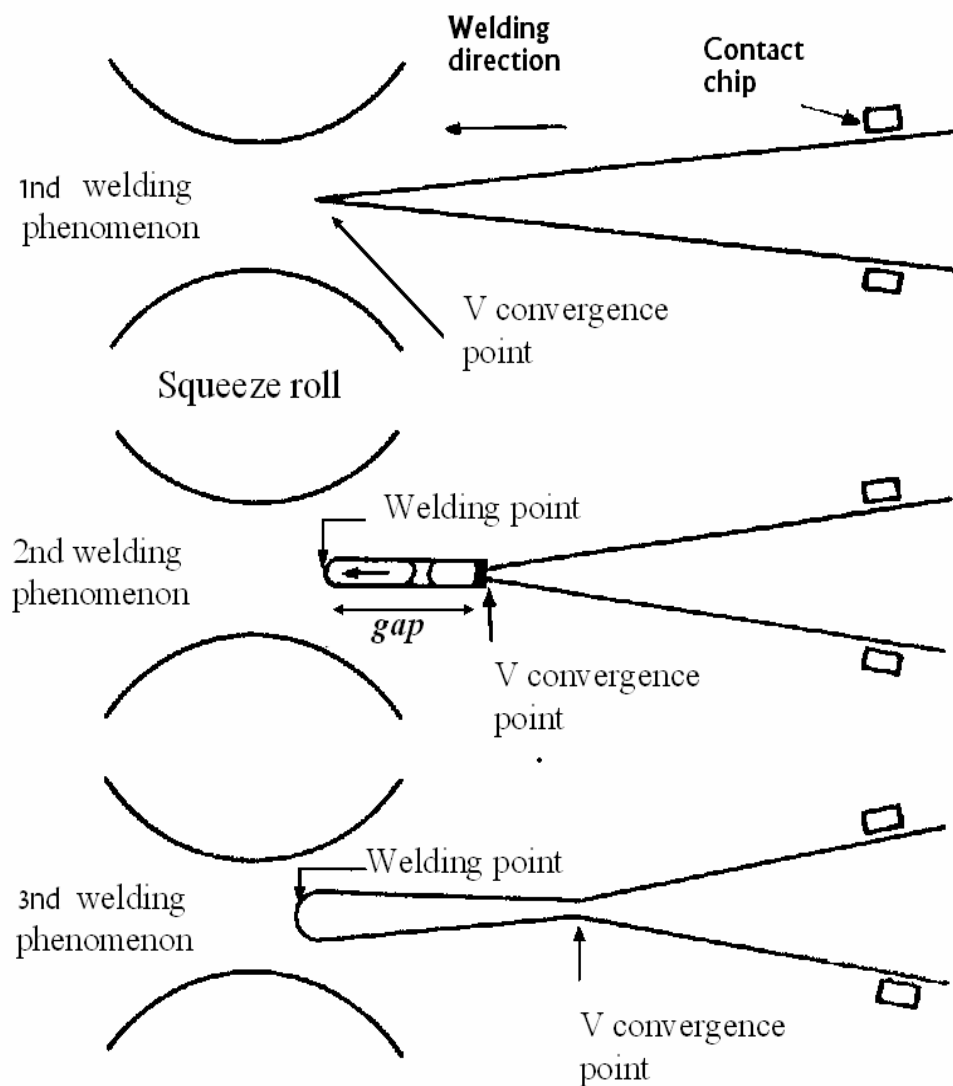
سالها در مراکز تحقیقاتی سراسر دنیا با صرف هزینه بسیار، سعی شده است تا مولفه‌های موثر بر کیفیت جوش و جوشکاری را پیدا نمایند تا به کمک آنها بتوانند کنترل مناسبی بر فرایند جوشکاری داشته باشند. در این فصل بطور اجمالی به بررسی تحقیقات انجام شده در این باب می‌پردازیم، زیرا تحقیقات مورد نظر کمک بسیار بزرگی به استخراج ویژگی‌ها و کاهش هزینه و وقت صرف شده می‌نماید. لازم به توضیح است که پاره‌ای از تحقیقات که در ادامه آورده شده است ارتباط مستقیمی با زمینه پردازش تصویر نداشته، اما بدلیل فایده زیادی که برای رسیدن به ویژگی‌ها مهم تصویر و روش‌های کنترل بهینه دارند مورد توجه واقع شده اند، هم چنین برای درک بهتر موضوعات آورده شده در این فصل، برخی از تصاویر و مطالب اضافه شده است.

برای پیشرفت و توسعه یک سیستم جوشکاری خودکار، باید سه راهکار مهم را در نظر گرفت که عبارتند از:

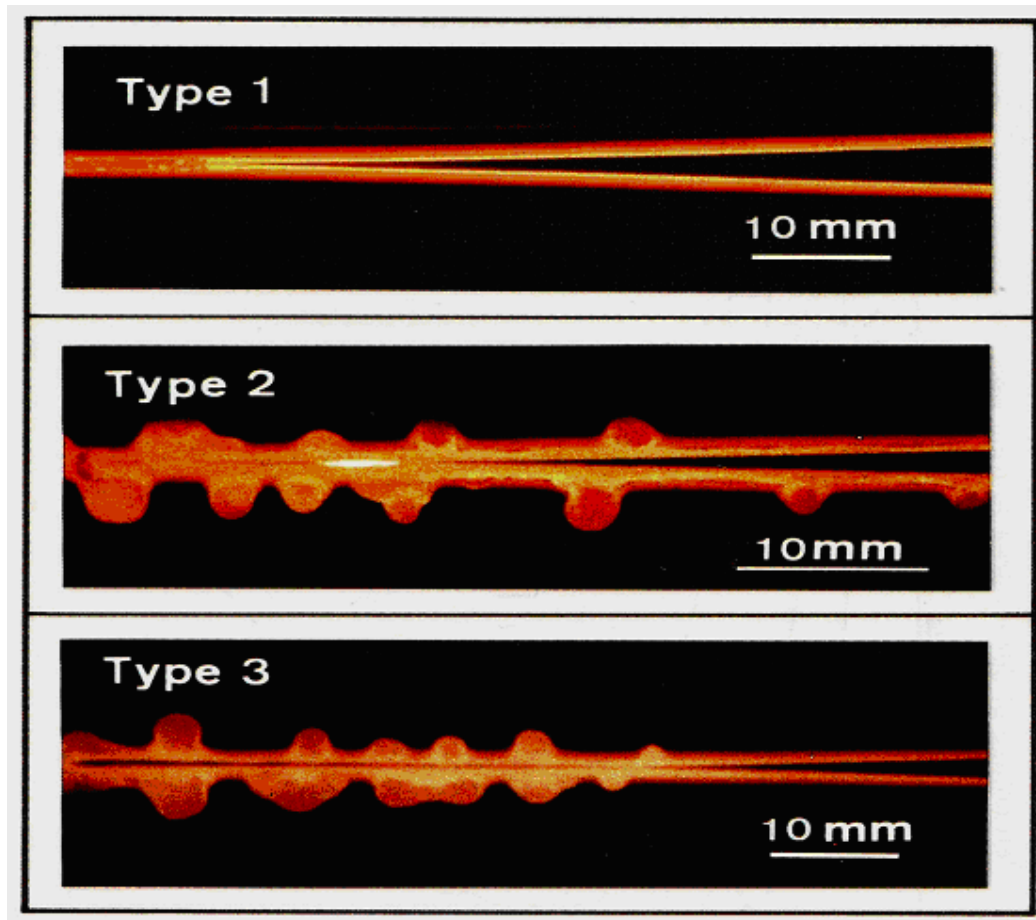
- ۱- باید به دنبال راهی برای کاهش نقایص در جوش‌ها بود.
- ۲- باید نقایص جوش‌ها را حداقل نمود، به عبارتی دیگر به یک وضعیت بهینه برای جوشکاری رسید.
- ۳- باید سیستم با فرامینی مناسب، وضعیت جوشکاری را در حالت بهینه حفظ نماید.

## ۲-۲ تحقیقات Haga

Haga با بکار بردن یک دوربین سریع به مشاهده قسمت گذاخته شده و ساز و کار اتصال دو لبه درز در نقطه همگرایی پرداخت و سعی کرد رابطه‌ای مابین شرایط جوشکاری، پدیده جوشکاری و کیفیت جوش پیدا نماید، او در بررسی‌هایش متوجه شد که پدیده HF ERW را می‌توان به سه دسته بر اساس طول و شکل *gap* دسته بندی نمود، این موضوع در شکل های ۱-۲ و ۲-۲ نشان داده شده است [۱۵].



شکل ۱-۲ طرح کلی از سه نوع پدیده جوشکاری



شکل ۲-۲ طبقه بندی پدیده جوشکاری

پدیده جوشکاری نوع اول موقعی اتفاق می افتد که حرارت اعمال شده به قطعه کار کمتر از مقدار مورد لزوم است، در این شرایط سرعت خط بیش از اندازه گداخته شدن منطقه جوشکاری است و gap تشکیل نمی شود و نقطه همگرایی نزدیک به نقطه جوشکاری است.

پدیده جوشکاری نوع دوم موقعی اتفاق می افتد که حرارت اعمال شده به قطعه کار بهینه باشد، در این شرایط سرعت خط و گداخته شدن منطقه کار متناسب بوده و نقطه جوشکاری در انتهای یک gap باریک است و جوشکاری بصورت مطلوب است.

پدیده جوشکاری نوع سوم موقعی اتفاق می افتد که حرارت اعمال شده به قطعه کار بیش از حد باشد، در این شرایط سرعت خط کمتر از میزان گداخته شدن منطقه کار بوده و gap ایجاد شده بیش از اندازه بزرگ و واگرا بوده و یک اتصال کوتاه آنی قبل از شکل گیری نقطه جوش صورت می گیرد.

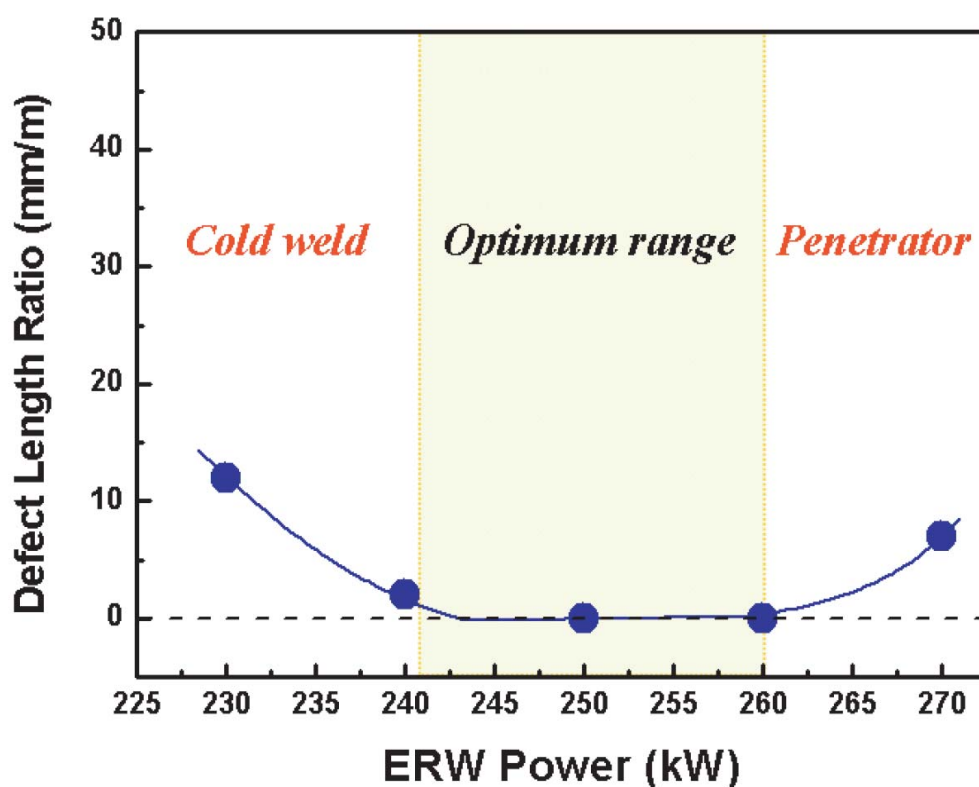
Haga در مراحل بعدی تحقیقاتش جوش های ناقص را به دو دسته جوش های سرد و رخنه ی طبقه بندی نمود [۱۶].

اگر پدیده جوشکاری از نوع اول باشد، حرارت از مقدار بهینه کمتر بوده و نوع نقص جوش، جوش سرد می‌باشد، اما چنان چه نوع نقص جوش از نوع رخنه‌ی باشد، نوع پدیده جوشکاری از نوع سوم خواهد بود و حرارت ورودی به قطعه کار بیشتر از مقدار بهینه است.

او دریافت حتی اگر شرایط جوشکاری در حالت مطلوب از پیش تنظیم شود، متغیرهای خارجی به دفعات کیفیت جوش را تحت تاثیر قرار می‌دهند، بنابراین بکارگیری رویه مدیریتی مناسب برای کاهش نقص‌ها الزامی است.

نتایج نهایی تحقیقات Haga که در بالا آورده شد، آن است که حداقل نقایص جوش‌ها در نوع دوم پدیده جوشکاری و بیشترین آنها در نوع اول و سوم پدیده جوشکاری می‌باشد.

جمع بندی از مطالب بیان شده در شکل ۲-۳ آورده شده است.



شکل ۲-۳ میزان نواقص جوش و نوع جوش به نسبت حرارت اعمالی