

تدوین تکنولوژی ساخت لاینر مولدگازی فریم ۵ در داخل کشور

حسن کاظم پورلیاسی^۱، علی اکبر فلاح^۲، غلامعلی رخشانی مهر^۳، احمدعلی اصغری مقدم^۴، سلطان راشکی^۵

۱ و ۲- پژوهشگاه نیرو

۳، ۴ و ۵- شرکت برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان

ایران

واژه‌های کلیدی: لاینر، فریم ۵، توربین گاز، محفظه احتراق

چکیده

لاینر یکی از قطعات حساس مسیر گاز داغ توربین گازی محسوب می‌شود. این قطعه به دلیل قرارگیری در شرایط کاری حاد از لحاظ دما و تنش دارای عمر محدود می‌باشد و پس از مدتی نیاز به تعمیر و یا تعویض دارند. در حال حاضر این قطعه در داخل کشور تولید نمی‌گردد و از خارج از کشور تامین می‌شود. با توجه به نیاز نیروگاهها به این قطعه و هزینه‌های ارزی بالای تهیه آن از خارج از کشور، تدوین تکنولوژی و کسب دانش فنی ساخت داخل این قطعه لازم و ضروری می‌باشد.

در همین راستا پروژه‌ای در برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان برای تدوین تکنولوژی و ساخت لاینر محفظه احتراق توربین گازی جی‌ئی فریم ۵ تعریف و اجراء گردید. در این مقاله نتایج بدست آمده از این پروژه ارائه شده است. در این پروژه با انجام آزمایش‌های مختلف و بررسی منابع علمی و مستندات موجود و قطعات فابریک، مشخصات

فنی (شامل ترکیب شیمیایی، نقشه، خواص مکانیکی، ساختار میکروسکوپی و...) و روش ساخت قطعه تعیین گردید. سپس یک نمونه لاینر ساخته شد و پارامترهای مربوط به ساخت و تولید بهینه گردید. در نهایت یک دست لاینر توربین فریم ۵ تولید گردید.

۱- مقدمه

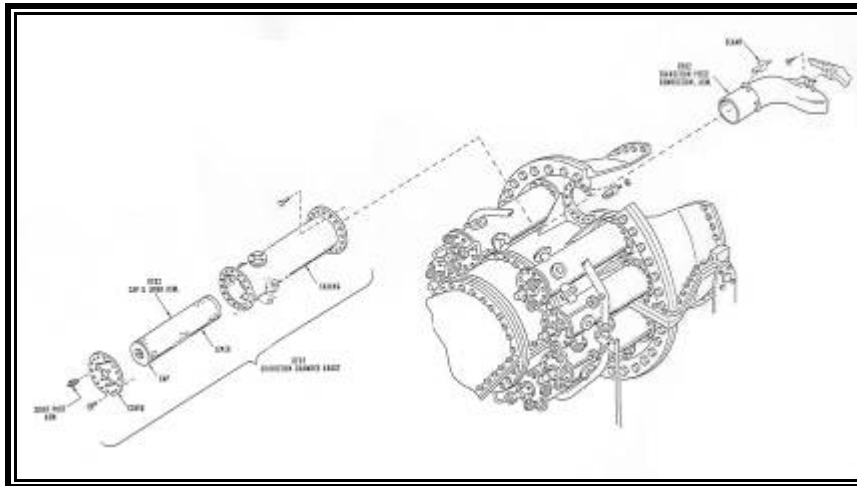
بخش احتراق توربین شامل محفظه احتراق، نازل‌های سوخت، تجهیزات حسگرشعله^۱، جرقه‌زن‌ها^۲ و ترانزیشن پیس و لاینر می‌باشد. محفظه‌های احتراق در توربین‌های طرح G.E به صورت هم‌مرکز حول محور کمپرسور و به دیواره بخش تخلیه کمپرسور متصل می‌شوند (شکل ۱). هوای مورد نیاز احتراق مستقیماً توسط کمپرسور تامین می‌شود. سوخت نیز توسط نازل‌های سوخت که بر روی هر کپ لاینر سوار

1 -Flame detector
2-Spark plug

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

به محفظه احتراق به سه شکل مصرف می‌شود: برای اکسیدکردن سوخت، برای خنک کردن قطعات و برای رساندن درجه حرارت محصولات احتراق به مقدار مطلوب [۳-۱].

شده‌اند وارد محفظه می‌گردد. هوای وارد شده به محفظه احتراق از طریق سوراخ‌ها و هواکش‌های لاینر وارد محفظه می‌شود. بخشی از هوا نیز به قسمت انتهایی لاینر رسیده و وارد کپ لاینر و هم‌زن نازل می‌شود. بطور کلی هوای ورودی



شکل ۱- تصاویر موقعیت و نحوه مونتاژ لاینر در توربین فریم ۵ [۱]

لاینرهای هواکشی^۴ مورد استفاده در توربین‌های گاز به روش جابجایی توسط جریان هوای در طول دیواره‌های خارجی لاینر و همچنین توسط فیلم پوششی داخلی لاینر خنک می‌شود. هوا از طریق تعداد زیادی سوراخ نزدیک به هم (که هواکش نامیده می‌شود) وارد می‌شود. این سوراخ‌ها به روش پانچ تکه‌های کوچک دیواره لاینر به سمت بیرون ایجاد می‌شود. استفاده تعداد زیادی از این سوراخ‌ها یک فیلم نازک پیوسته‌ای را ایجاد می‌کند که با انتخاب مناسب اندازه، فواصل و موقعیت، خنک‌کاری در مناطق مورد نظر لاینر انجام می‌گیرد [۳-۱].

۲- اجزاء مختلف لاینر و ملحقات مربوطه

لاینر توربین‌های گاز سری MS5001 از سه قسمت اصلی بدنه، کپ و سیل فنری تشکیل شده است که در شکل ۲ تصویر یک نمونه از این لاینرها ارائه شده است.

مخلوط سوخت و هوا ابتدا توسط جرقه‌زن‌هایی که بر روی دو محفظه نصب شده‌اند مشتعل می‌شود. محفظه‌های بدون جرقه‌زن نیز توسط لوله‌های کراس‌فایر^۱ مشتعل می‌شوند [۳-۱].

سیستم محفظه احتراق برای توربین گازی MS5001 در دو نوع استاندارد و نوع^۲ DLN وجود دارد [۳-۱].

سیستم احتراق در توربین MS5001 از ۱۰ محفظه احتراق نفوذی^۳ عادی با جریان معکوس تشکیل شده است. سوخت توسط هر نازل که هر یک چندین مجرای تزریق دارد (به منظور حصول بهترین شعله) تزریق می‌شود. یک سیستم مربوط به ایجاد و توانایی استفاده از دو نوع سوخت نیز به صورت اختیاری موجود می‌باشد. تزریق آب یا بخار آب به منظور کاهش NOx در گاز خروجی می‌تواند استفاده شود و بخار آب نیز به منظور افزایش توان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳-۱].

1 -Cross fire

2 -Dry Low NOx

3 -Diffusion combustion

4 -louvered liner

شده طرح‌های موجود در داخل کشور در چهار نوع، هیتاچی (طرح قدیم و جدید)، آ.ا.گ و آلستوم وجود دارد [۴]. با توجه به عملکرد مناسب‌تر طرح‌های هیتاچی بنا به اذعان کارشناسان نیروگاه این نوع طرح جهت ساخت انتخاب گردید.

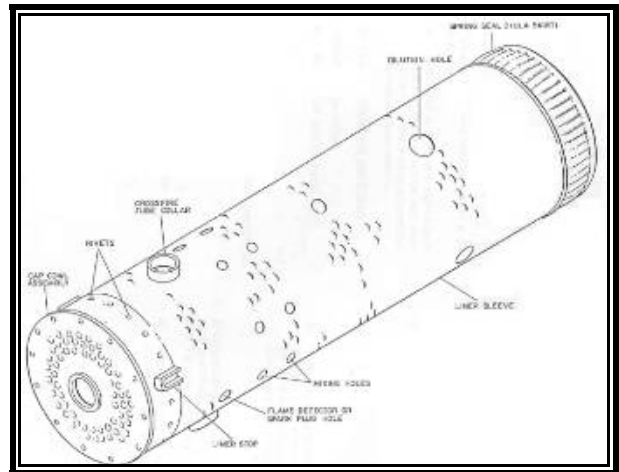
با توجه به مشخصات و شرایط کاری لاینر آلیاژ مورد استفاده در لاینر باید الزماً دارای مقاومت به اکسیداسیون، خستگی حرارتی و مقاومت به پیچش بالا و همچنین استحکام نسبتاً متوسط اما حفظ استحکام در دمای بالا باشد. ضمناً قابلیت جوشکاری و سهولت فرم‌پذیری در ساخت از ملزومات دیگر این آلیاژ می‌باشد. با توجه به این موارد و با توجه به مشخصات فنی ارائه شده توسط شرکت GE در خصوص توربین گازی سری MS5001، آلیاژ بکار رفته در قسمت‌های کپ و لاینر توربین مذکور سوپرآلیاژ با نام تجاری Hastelloy X می‌باشد [۴].

۳- روند انجام کار

جهت تدوین تکنولوژی و ساخت لاینر فریم ۵ مراحل زیر انجام گردید:

- ❖ مطالعات اولیه
- ❖ تهیه مشخصات فنی لاینر به همراه ملحقات مربوطه
- ❖ تهیه معیارهای کنترل کیفی ساخت
- ❖ طراحی فرآیند ساخت
- ❖ طراحی و ساخت قالبها و فیکسچرهای لازم
- ❖ ساخت نمونه لاینر و بررسی و رفع اشکالات مربوطه
- ❖ ساخت یکدست لاینر
- ❖ کنترل کیفی لاینرهای ساخته شده

در ادامه نتایج بررسیهای مذکور در هر بخش بصورت مختصر ارائه شده است. جزئیات کامل تر هر بخش در گزارش‌های پروژه قابل دسترسی می‌باشد.



شکل ۲- تصویر لاینر توربین گاز فریم ۵، خنک شونده با سیستم

هواکشی [۱]

اجزاء هر قسمت در زیر ارائه شده است.

۱- لاینر

- بدنه اصلی
- نگهدارنده‌های لاینر^۱
- لوله کراس فایر^۲
- پین اتصال کپ به بدنه اصلی

۲- کپ^۳

- صفحه کپ
- شعله پخش کن
- رینگ زیر شعله پخش کن
- مخروطی
- رینگ

۳- سیل فنری^۴

بطور کلی با توجه به اینکه سازنده‌های مختلفی در ارتباط با توربین‌های MS5001 فعالیت دارند طبیعتاً تفاوت‌هایی در طرح برخی از قطعات از جمله لاینر وجود دارد که این تفاوت‌ها مانعی بر سر استفاده از این قطعات در طرح‌های دیگر ایجاد نمی‌کند. با توجه به بررسیهای انجام

- 1 -Liner stop
- 2 -Cross fire tube collar
- 3 -Cap
- 4 -Spring seal

۳-۱- مطالعات اولیه

در این قسمت مشخصات لاینرهای فریم ۵ موجود در داخل کشور و اختلافات آنها مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات آلیاژهای بکار رفته در قسمت‌های مختلف لاینر در طرح‌های مختلف، فرآیندهای مختلف مورد استفاده در فرآیند ساخت آن شامل، فرم‌دهی، جوشکاری و عملیات حرارتی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. با توجه به منابع و استانداردهای موجود معیارها و دستورالعمل‌های کنترل کیفی مورد نیاز تدوین گردید [۴].

۳-۲- تهیه مشخصات فنی لاینر و ملحقات

همانطوری که قبلاً اشاره شد طرح هیتاچی جدید بعنوان لاینر مبنا انتخاب گردید. مشخصات فنی لاینر شامل، نقشه‌های دو بعدی، مدل سه بعدی، جنس و نوع جوش‌های بکار رفته از روی این نمونه استخراج گردید. به منظور تهیه شناسنامه فنی لاینر و کپ توربین‌گازی MS5000 از جنس HastelloyX، بررسی‌ها و آزمایش‌ها بر روی لاینرهای تهیه شده از نیروگاه که شامل ۱ عدد لاینر نوع فابریک و ۳ عدد لاینر مستعمل و همچنین یک عدد کپ نو و ۲ عدد کپ مستعمل در طرح‌های هیتاچی و آ.ا.گ بود انجام گرفت. این بررسیها در

دو بخش ابعادی و متالورژیکی می‌باشند که در ادامه نتایج حاصله در دو بخش مشخصات ابعادی و مشخصات متالورژیکی ارائه شده است [۵].

۳-۲-۱- مشخصات ابعادی

جهت تعیین مشخصات ابعادی لاینرهای مذکور ابعادبرداری بر روی قطعات موجود با استفاده از ابزارهای عمومی و خاص انجام گرفت. لازم به ذکر است که به دلیل عدم وجود نقشه و اسنادی جهت ساخت این قطعه، این اندازه‌گیری‌ها بر روی قطعات فابریک جهت تعیین بازه‌های تolerانس، لازم و ضروری بود.

در اندازه‌گیری‌های ابعادی با ابزار عمومی از وسایل اندازه‌گیری دستی به شرح ذیل استفاده شد.

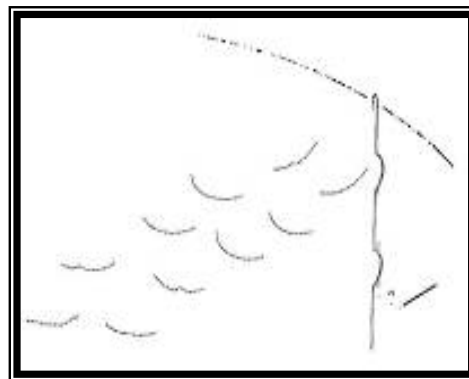
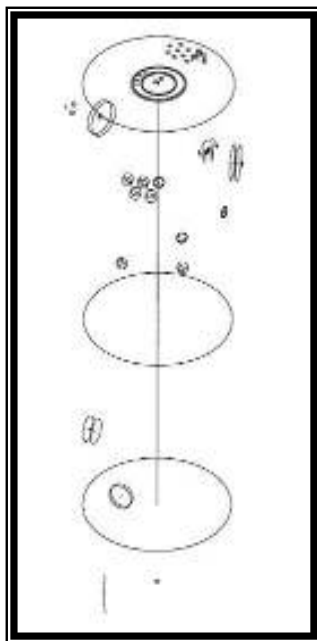
(۱) کولیس دیجیتال 0-200mm با دقت 0.01mm

(۲) جعبه راپروتر 85 پارچه با کلاس 0

(۳) کولیس 0-500mm با دقت 0.02

(۴) گیج فیلر 0.05-1.00mm

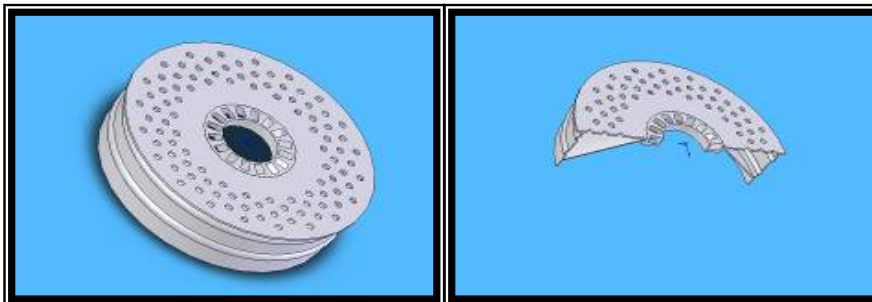
با استفاده از ابزارهای مذکور پارامترهای مختلف لاینر، کپ و سیل فنی اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری‌ها بر روی لاینر نو و لاینرهای مستعمل انجام گرفت.



شکل ۳-۱- ابر نقاط حاصل از اندازه‌گیری توسط CMM بر روی کپ، بدنه و سیل فنی



شکل ۴- مدل سه بعدی تهیه شده لاینر با استفاده از نرم افزار POWER SHAPE



شکل ۵- مدل سه بعدی تهیه شده از کپ با استفاده از نرم افزار SOLID WORKS

گردید. نقشه‌های بدست آمده با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی قطعات موجود و تجربیات بر روی قطعات مشابه و تolerانس‌گذاری گردید. در شکل‌های ۴ و ۵ نمایی از مدل‌های سه‌بعدی تهیه شده از قطعات مذکور ارائه شده است.

۳-۲-۲- مشخصات متالورژیکی

مشخصات متالورژیکی مورد بررسی قرار گرفته لاینر، شامل آنالیز شیمیایی، خواص مکانیکی و ریزساختار قسمت‌های مختلف آن است که با آزمون‌های کوانتومتری و مکانیکی و بررسی‌های ساختاری با میکروسکوپ الکترونی روشی مجهز به پروب EDAX و میکروسکوپ نوری انجام شده است.

در مرحله نخست به منظور تعیین جنس قطعات، نمونه‌هایی از هر قسمت از لاینر و ملحقات برای تعیین ترکیب شیمیایی، بررسی ساختاری، تعیین خواص مکانیکی نظیر سختی و

بمنظور بدست آوردن ابعاد هندسی دقیق قطعات مذکور نیاز به استفاده از ابزارهای خاص می‌باشد. بدین منظور از دستگاه CMM^۱ و دستگاه دیجیتال استفاده شد. این دستگاه‌ها بمنظور اندازه‌گیری سطوح نامنظم و دقیق برای ایجاد مدل هندسی و تعیین اندازه‌های دقیق بکار گرفته می‌شوند. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری با این ابزارها بر روی لاینر نو انجام گرفت. ابر نقاط حاصل از اندازه‌گیری با استفاده از CMM، لاینر و کپ در شکل ۳ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از CMM با استفاده از نرم‌افزارهای Solid Works، Mechanical Desktop و Power Shape پردازش شده و مدل‌های سه‌بعدی لاینر و کپ بدست آمد. سپس از روی مدل‌های بدست آمده با نرم‌افزارهای مذکور و همچنین نتایج اندازه‌گیری با ابزارهای عمومی نقشه‌های دوبعدی تهیه

1 -Coordinate Measuring Machine

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

لاینرهای نمونه در مراحل بعدی پروژه مطابق با جدول ۱ می‌باشد.

جنس و ترکیب شیمیایی فیله‌های بکاررفته در جوشکاری اجزاء لاینر، کپ و سیل فنری و جنس‌های پیشنهادی جهت ساخت لاینرهای نمونه در مطابق با جدول ۲ می‌باشد. لازم به ذکر است که جنس‌های پیشنهادی با توجه به بررسی‌های فنی انجام شده و همچنین قابلیت در دسترس بودن مواد اولیه جهت ساخت لاینر و ملحقات مربوطه ارائه شده است.

۳-۳- تدوین معیارهای کنترل کیفی

جهت کنترل کیفی لاینرها در حین فرآیند ساخت و پس از نهایی شدن فرآیند ساخت نیاز به دستورالعمل و معیارهای کنترلی می‌باشد. برای این منظور با استفاده از استانداردهای معتبر مثل ASTM، ASME، MIL و استانداردهای سازندگان لاینر و همچنین مشخصات بدست آمده از روی قطعات فابریک، معیارهای کنترلی تدوین گردید. این معیارها بطور کلی شامل موارد زیر می‌باشد:

- معیار کنترل ترکیب شیمیایی مواد اولیه
- معیارهای کنترل خواص مکانیکی آلیاژ مورد استفاده
- معیار کنترل کیفی جوش
- معیارهای کنترل ابعادی

استحکام‌کشی، مطالعه و بررسی مناطق جوش و تعیین فیلر بکار رفته در فرآیند جوشکاری تهیه گردید. نمونه‌برداری از هر قسمت به نحوی انجام شده تا بررسی تمام خواص و مشخصات مدنظر آن قسمت را امکان‌پذیر سازد. با توجه به نتایج آنالیزهای کوانتومتری ترکیب شیمیایی نمونه‌ها مشخص و سپس با استفاده از استانداردهای تطبیقی استاندارد معادل برای جنس هر قطعه تعیین گردید. مشخص شد که قطعه لاینر از سوپرآلیاژهای پایه نیکل و فولادهای زنگ نزن آستینیتی (در شعله پخش‌کن و پین کپ لاینر) ساخته شده است. پس از مشخص شدن جنس هر قسمت، نمونه‌هایی تهیه شد و بررسی ساختاری با میکروسکوپ الکترونی روبشی و نوری بر روی آنها انجام گرفت.

با توجه به عدم دسترسی و امکان آزمایش‌های مخرب بر روی قطعات نو، این آزمایش‌ها بر روی قطعات مستعمل انجام شد. نتایج برخی از این آزمایش‌ها مانند خصوصیات ساختاری و یا خواص مکانیکی فقط برای اطلاع انجام شد. برای کنترل فرآیند ساخت و تدوین تکنولوژی و تعیین معیارها از استانداردها و مدارک معتبر نیز استفاده گردید.

جنس و ترکیب شیمیایی آلیاژهای بکار رفته در اجزاء لاینر، کپ و سیل فنری و جنس‌های پیشنهادی جهت ساخت

جدول ۱- جنس آلیاژهای بکار رفته در اجزای مختلف لاینر

جنس پیشنهادی جهت ساخت لاینر و اجزاء آن	اسم آلیاژ		اسم قطعه
	مدل AEG	مدل HITACHI	
HastelloyX	//	HastelloyX	بدنه اصلی
IN X-750	//	IN X-750	سیل فنری
HastelloyX	//	RA333	رینگ کپ
AISI 304	//	AISI 304	شعله پخش کن
AISI 309 یا HastelloyX	//	AISI 309	صفحه کپ
HastelloyX	//	RA333	مخروطی کپ
AISI 304	//	AISI 304	رینگ زیر شعله پخش کن
HastelloyX	//	HastelloyX	نگهدارنده لاینر
AISI 304	//	AISI 304	پین
HastelloyX	RA333	Haynes 188	گردنی کراس فایر

جدول ۲- فیلر بکار رفته در جوشکاری اجزاء لاینر وکپ

منطقه جوش	استاندارد فیلر مورد استفاده	فیلرهای پیشنهادی
بدنه اصلی	RA333	HastellyX,RA333,RA602CA
نگهدارنده به بدنه اصلی	Er Ni Cr Mo – 2(Hastelloy X)	HastellyX,RA333,RA602CA
رینگ کپ	RA 333	RA333,RA602CA
رینگ به مخروطی کپ	RA 333	RA333,RA602CA
گردنی کراس فایر به بدنه(در مدل هیتاچی)	HastellyX	HastellyX
گردنی کراس فایر به بدنه(در مدل آ.آ.گ)	RA 333	RA 333, HastellyX
صفحه فوقانی به رینگ کپ	RA 333	RA 333
رینگ به شعله پخش کن	HastellyX	HastellyX
رینگ زیر شعله پخش کن به شعله پخش کن	-	304

۳-۴- طراحی فرآیند ساخت

با توجه به مطالعات اولیه و بررسی انجام شده روی قطعات فابریک و همچنین مشاوره با کارشناسان صنعت و امکانات موجود در داخل کشور فرآیند ساخت لاینر و ملحقیات آن طراحی گردید. این فرآیند بطور خلاصه برای اجزاء مختلف لاینر بصورت زیر می باشد.

الف) بدنه اصلی لاینر:

۱. برشکاری ورق در ابعاد مورد نظر
۲. سوراخکاری با استفاده از لیزر
۳. رول ورق
۴. خال جوش
۵. جوشکاری طولی بدنه با روش^۱ TIG

۶. پانچ سوراخ‌های ناخنی

۷. جوشکاری گردنی کراس فایر و استوپر به بدنه اصلی
۸. اتصال کپ به بدنه اصلی به وسیله پین و جوش TIG
۹. اتصال سیل فنری به بدنه اصلی با جوش مقاومتی نقطه‌ای

ب) کپ لاینر:

با توجه به اینکه مجموعه کپ شامل قطعات مختلفی می‌باشد فرآیندهای ساخت در این قطعات مختلف بوده است. بطور کلی در ساخت این قطعات از فرآیندهای زیر استفاده می‌شود:

۱. برشکاری ورق در ابعاد مورد نیاز- برای تمام اجزاء
۲. رول ورق- برای رینگ مخروطی
۳. سوراخ کاری- برای صفحه انتهایی کپ
۴. پانچ ناخنی- برای مخروطی
۵. اسپارک- برای سوراخ‌های شعله پخش کن
۶. جوشکاری TIG- برای اتصال اجزاء به یکدیگر

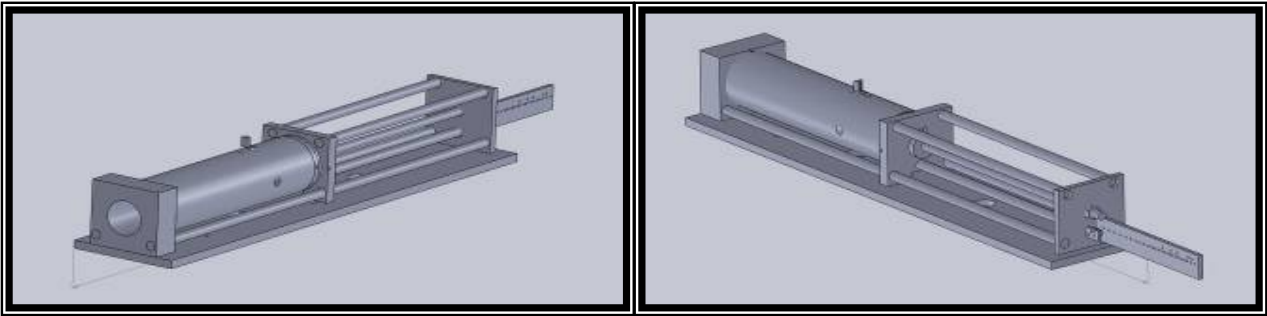
ج) سیل فنری

۷. برشکاری ورق در ابعاد مورد نیاز
۸. سوراخ کاری
۹. فرم‌دهی
۱۰. عملیات حرارتی

فرآیندهای برش، سوراخ کاری و فرم‌دهی سیل فنری در شرایط آنیل انجام گردید و به منظور کسب استحکام مکانیکی و خاصیت فنری سیل، عملیات رسوب‌سختی مطابق با سیکل عملیات حرارتی تدوین شده انجام گرفت.

۳-۵- طراحی و ساخت قالبها و فیکسچرها

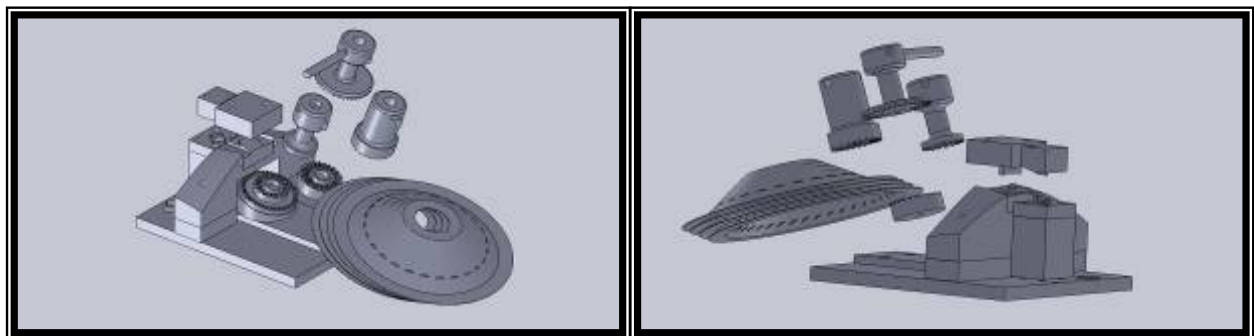
با توجه به فرآیندهای انتخابی ساخت، قالبها و فیکسچرهای لازم طراحی و ساخته شد و در برخی از موارد نیز از امکانات موجود استفاده گردید. در شکل‌های ۶ الی ۱۰ تصاویر سه‌بعدی برخی از قالبها و فیکسچرهای ساخته شده در این پروژه ارائه شده است.



شکل ۶- مدل سه بعدی قالب پانچ سوراخ‌های ناخنی بدنه لاینر



شکل ۷- تصویر قالب برای ایجاد سوراخ‌های ناخنی شکل بدنه لاینر

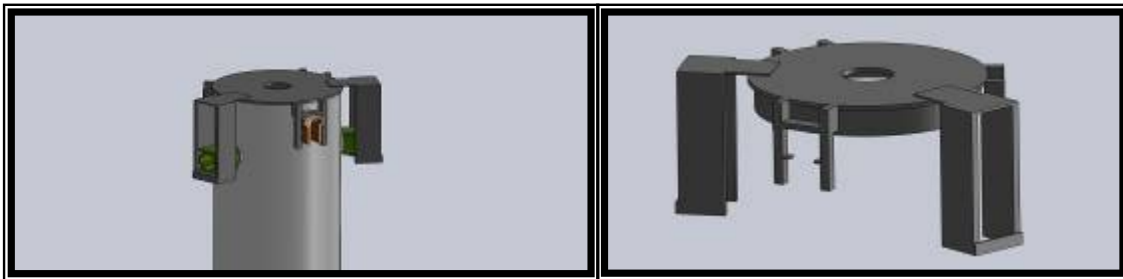


شکل ۸- مدل سه بعدی قالب پانچ سوراخ‌های ناخنی مخروطی سرکاپ



شکل ۹- فیکسچر جوشکاری صفحه انتهایی کپ به حلقه و مخروطی

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۱۰- فیکسچر جوشکاری گردنی کراس فایرتیوپ و استوپر به بدنه اصلی لاینر

۳-۶- ساخت یک نمونه لاینر به همراه ملحقات

به منظور بررسی عملکرد قالبهای ساخته شده به خصوص قالب پانچ سوراخ ناخنی، در ابتدا کنترل قالب بر روی فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 309 انجام گرفت. دلیل انتخاب این آلیاژ تشابه رفتار فرم‌پذیری و جوشکاری آن به آلیاژ Hastelloy X بوده است. با توجه به اشکالات مشاهده شده در مراحل اولیه اصلاح قالب‌ها. در نهایت به منظور بررسی مشکلات فرآیندهای مرتبط با ساخت یک نمونه لاینر به همراه ملحقات مربوطه ساخته شد. مشکلات موجود در فرآیند ساخت و محدودیت‌های موجود در ساخت مشخص و بر اساس آنها نقشه‌های اولیه در برخی از ابعاد و پارامترها مجدداً اصلاح گردید.

۳-۷- ساخت یکدست لاینر

پس از اصلاح نقشه‌های ساخت و قالبها یکدست لاینر فریم ۵، که شامل ۱۰ عدد می‌باشد، به همراه ملحقات مربوطه ساخته شد. در شکل ۱۱ لاینرهای ساخته شده نشان داده شده است.



شکل ۱۱- تصویر یکدست لاینر فریم ۵ ساخته شده

جدول ۳- آزمایش‌های انجام شده بر روی مواد اولیه و نتایج بدست آمده

ترکیب شیمیایی											
	Ni	Cr	Fe	Mo	Co	W	Si	Mn	P	S	C
1	47.80	21.20	19.03	8.53	1.47	0.57	0.24	0.68	0.013	0.001	0.07
2	BAL.	21.78	18.71	9.02	1.74	0.50	0.28	0.68	0.020	0.002	0.066
Spec.	Reminder	20.5-23	17-20	8-10	0.5-2.5	0.2-1	1Max	1Max	0.04Max	0.03Max	0.05-0.15
استحکام کششی											
شماره نمونه	EL.(%)					UTS(Mpa)			Temp.		
1	45.8					769			طاق		
2	52					745			طاق		
Spec.	35					690			طاق		
استحکام گسیختگی											
شماره نمونه	EL.(%)		(Hr)T _r		stress(Mpa)			temp.(°C)			
1	142		53.8		114			816			
2	88		74		110			816			
Spec.	8		24		103			816			

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۴- آزمایش‌های انجام شده بر روی اتصالات جوش و نتایج بدست آمده

آزمایش کشش جوش TIG			
شماره نمونه	Y.S(N/MM2)	U.T.S(N/MM2)	E.L(%)
1	461.25	815.12	38.45
2	446.66	784.32	39.02
نتیجه	مطابق با معیار مورد نظر		
آزمایش خمش جوش TIG			
شماره نمونه	موقعیت خم	نتیجه آزمون	
1	ROOT	در اثر خم با زاویه ۱۸۰ درجه هیچ گونه ترکی در محل جوش و اطراف آن مشاهده نشد.	
2	FACE	در اثر خم با زاویه ۱۸۰ درجه هیچ گونه ترکی در محل جوش و اطراف آن مشاهده نشد.	
3	ROOT	در اثر خم با زاویه ۱۸۰ درجه هیچ گونه ترکی در محل جوش و اطراف آن مشاهده نشد.	
4	FACE	در اثر خم با زاویه ۱۸۰ درجه هیچ گونه ترکی در محل جوش و اطراف آن مشاهده نشد.	
نتیجه	مطابق با معیار مورد نظر		
آزمایش برش جوش نقطه‌ای			
شماره نمونه	Fmax(kg)		
1	426.17		
2	495.04		
نتیجه	مطابق با معیار مورد نظر		
آزمایش جدایش جوش نقطه‌ای			
نتیجه	مطابق با معیار مورد نظر		
آزمایش چشمی و مایعات نافذ			
نتیجه	مطابق با معیار مورد نظر		

۳-۸- کنترل کیفی لاینرها و فرآیند ساخت

بر اساس دستورالعمل و معیارهای تدوین‌شده، مواد اولیه، فرآیندهای ساخت و همچنین لاینرهای تمام‌کاری شده تحت کنترل و بررسی قرار گرفتند.

با توجه به گواهی کیفیت مواد اولیه مورد استفاده، جهت کنترل مجدد، نمونه‌برداری و آنالیز از مواد اولیه صورت گرفت. آنالیزهای انجام‌شده تطابق مواد اولیه با استاندارد آلیاژهای مورد نظر و سایر خواص ارائه شده را نشان داد. در جدول ۳ مشخصات مواد اولیه مورد استفاده در ساخت لاینر و سایر اجزاء (به جز سیل فیزی و شعله پخش کن) ارائه شده است.

به منظور بررسی کیفیت و خواص جوش‌های TIG و جوش مقاومتی نقطه‌ای، نمونه‌برداری و آزمایش‌های زیرانجام گرفت.

- بررسی چشمی بر روی تمام قسمت‌ها

- بررسی با مایعات نافذ بر روی جوش TIG در تمام اتصالات
- آزمایش کشش بر روی جوش TIG
- آزمایش خمش بر روی جوش TIG
- آزمایش برش بر روی جوش نقطه‌ای
- آزمایش جدایش^۱ بر روی جوش نقطه‌ای
- بررسی متالوگرافی بر روی جوش نقطه‌ای

در جداول ۴ و ۵ نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی مواد اولیه و همچنین فرآیندهای ساخت لاینرها ارائه شده است.

کنترل ابعادی لاینرها نیز در حین پروسه ساخت و لاینرهای تمام‌کاری شده با توجه به معیارهای مورد نظر در نقشه‌ها انجام گرفت. آزمایش‌های انجام شده تطابق نتایج را با معیارهای تدوین شده نشان داد.

1 -peel test

۴- جمع‌بندی

- ۱- مشخصات فنی لاینر در دو بخش ابعادی و متالورژیکی انجام گرفت.
- ۲- به دلیل در اختیار نبودن نقشه‌های ساخت، پارامترهای ابعادی و همچنین تلرانس‌های مربوطه از روی قطعات فابریک استخراج گردید.
- ۳- مشخصات متالورژیکی شامل جنس، خواص مکانیکی و نوع جوش‌های بکار رفته از روی قطعات فابریک و مدارک سازنده بدست آمد.
- ۴- معیارهای کنترل‌کیفی ساخت بر اساس اطلاعات بدست آمده از روی قطعات فابریک، استانداردهای معتبر و مدارک سازندگان تدوین شد.
- ۵- با توجه به مشخصات فنی قطعات و نحوه اتصالات مربوطه فرآیند ساخت قطعات بصورت منفرد و همچنین ساخت مجموعه لاینر تدوین شد.
- ۶- با توجه به فرآیند ساخت قطعات، قالبها و فیکسچرهای لازم طراحی و ساخته شد و پس از ساخت نمونه‌های اولیه لاینر اصلاحات لازم در قالبها و نقشه‌ها انجام گرفت.
- ۷- ساخت یکدست لاینر فریم ۵ انجام و کنترل‌های لازم بر اساس معیارهای تدوین شده بر روی آنها صورت گرفت.

۵- منابع و مراجع

- [۱] - مدارک، اطلاعات فنی و نقشه‌های موجود در نیروگاه گازی زاهدان و دفتر فنی برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان.
- [2]- "GE Model 5000", internet document, 2004
- [3]- "MS5001 GAS TURBINE: Technical Description", Nuovo Pignone, GE Power System- Oil & Gas, WWW.GE.COM.
- [۴]- گزارش مرحله اول، پروژه، "تهیه شناسنامه فنی، تدوین تکنولوژی و ساخت یکدست لاینر مولد گازی فریم ۵"، پژوهشگاه نیرو، مرکز شیمی و مواد. ۱۳۸۶.
- [۵]- گزارش مرحله دوم پروژه، "تهیه شناسنامه فنی، تدوین تکنولوژی و ساخت یکدست لاینر مولد گازی فریم ۵"، پژوهشگاه نیرو، مرکز شیمی و مواد. ۱۳۸۶.