POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

توربین‌های گازی میکرو: توسعه‌ها، برنامه‌های کاربردی و فن‌آوری‌های کلیدی در قطعات

چکیده

با توجه به ویژگی‌های مسائل امروزی، توربین‌های گازی میکرو (MGT[1]) به عنوان ماشین‌آلات توانی محبوب در بسیاری از سیستم‌های انرژی مانند سیستم‌های انرژی پراکنده، گسترده‌دهنده دامنه، تولید برق خورشیدی، سیستم‌های پیل سوختی و منابع تغذیه تکی مورد توجه قرار گرفته‌اند. ویژگی‌های خاص آن‌ها اساساً شامل سازگاری قوی با سوخت، آلایندگی کم، ساختار انعطاف‌پذیر و تعمیر و نگهداری آسان است، اما محدود به آنها نمی‌شود. در طول 20 سال گذشته، انواع مختلفی از MGTها توسعه یافته‌اند. فناوری‌های کلاسیک و آینده‌نگر در طراحی و تولید MGT و اجزای آن به کار گرفته شده‌اند. در میان آنها، ساختارهای جریان کاملا شعاعی، یاتاقان‌های روغن‌کاری شده با گاز و بازیابی‌کننده‌های کارآمد، رویکردهای معمولی برای افزایش عملکرد کلی و تراکم هستند، با این حال، بهره‌برداری از مواد بر پایه سرامیک و الگوریتم‌های هوشمند در طراحی اجزا نیز می‌تواند به بهبود عملکرد کمک نماید. کاربردهای MGTها در بسیاری از زمینه‌ها گسترش یافته است و تحقیقات بر روی اجزای مرتبط نیز پیشرفت جدیدی داشته است. با توجه به بازه زمانی، هیچ خلاصه سیستماتیکی از آخرین تحقیقات مرتبط وجود ندارد، بنابراین داشتن درک جامعی از کاربردهای MGTها و اجزای مربوط به آنها ضروری است.

---

[1] micro gas turbines
توربین‌های گازی میکرو

هدف این مقاله ارائه بررسی جامعی در مورد MGTها است که وضعیت پیشرفت، برنامه‌های کاربردی، عوامل عملکرد و کاوش‌های نشان دهنده اجزای آنها را پوشش دهد. برخی از تحقیقات در مورد ویژگی‌های MGTهای تجاری نیز انجام شده است. کاربردها در انرژی پراکنده، گستره‌دهنده دامنه، تولید انرژی خورشیدی و سیستم‌های پیل سوختی به‌طور مشخص معرفی شده‌اند. کار تحقیقاتی اخیر بر روی کمپرسورها، توربین‌ها، محفظه‌های احتراق، بازیابی‌کننده‌ها و سیستم‌های روتور را بازبینی و تحلیل می‌نماید. فن‌آوری‌ها و روش‌های مرتبط با مواد، ساخت و چرخه‌های مفید برای توسعه آینده MGTها نیز با جزئیات توضیح و مورد بحث قرار گرفته‌اند.

6. نتیجه‌گیری و آینده‌نگری

در مقاله حاضر، بررسی جامعی از MGTها انجام شده است که پیشرفت‌های MGTهای تجاری، کاربردها، عملکردها و آخرین تحقیقات جذاب در مورد اجزای MGT را پوشش می‌دهد. براساس بررسی‌های انجام شده، MGT خود به یک محصول صنعتی نسبتا بالغ تبدیل گردیده و محصولات تجاری نیز در زمینه خاصی به کار گرفته شده است. به طور کلی، پیکربندی MGTها مشابه هستند. فن‌آوری‌هایی مانند ساختار جریان شعاعی کامل، یاتاقان‌های روغن‌کاری شده و مبدل‌های حرارتی با راندمان بالا، به طور گسترده در MGTهای تجاری به کار گرفته شده‌اند و مزایای قابل توجهی برای سیستم به ارمغان آورده‌اند.

MGTها عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده‌اند و چشم‌انداز کاربردی گسترده‌ای دارند. هزینه‌های تولید برق پایین و استفاده جامع از انرژی خوب، در زمینه سیستم‌های انرژی پراکنده به خوبی نشان داده شده است. پتانسیل لرزش اندک و آلایندگی کم، MGTها را به‌ویژه در بازار گستره‌دهنده دامنه نموده است، چرا که هزینه‌های

سرمایه‌گذاری بالا و سرعت پاسخ ناکافی باعث می‌شود که سرعت پیشرفت کند گردد. ترکیب MGTها با انرژی خورشیدی متمرکز یا سیستم‌های پیل سوختی، انعطاف‌پذیری و پایداری سیستم‌های اصلی را تا حد زیادی گسترش می‌دهد. این تولید مشترک همچنین چرخه MGT را قادر می‌سازد تا به بازده حرارتی بالاتری برسد، که جایگزین مناسبی برای انرژی پراکنده و تولید برق سیار است. تأثیر پارامترهای اجزا بر عملکرد MGTها به‌طور خلاصه در بخش 4 معرفی شده است. اجزای داغ، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد حالت پایدار، گذرا و اقتصاد حرارتی دارند، به این بدان معنی است که تحقیق در مورد توربین‌ها یا بازیابی‌کننده‌ها باید اولویت بالاتری داشته باشد.

به منظور افزایش بیشتر عملکرد MGTها و گسترش کاربردهای آنها در صنعت انرژی، MGTها هنوز در مرحله بعدی توسعه، با چالش‌های جدی روبرو هستند. توسعه آینده MGTها عمدتاً به پیشرفت تحقیقات در جنبه‌های زیر بستگی دارد.

فن‌آوری نمونه‌سازی اجزا داغ و فن‌آوری حفاظت حرارتی کمکی

هدف نهایی افزایش دمای ورودی توربین است که برای کارایی کلی بسیار مهم است. مسیرهای فنی قابل تصور، شامل پیشرفت در فناوری مواد و کاربردهای فناوری حفاظت حرارتی است. برای توسعه مواد، با توجه به اینکه سوپرآلیاژها در محفظه‌های احتراق، پره‌های هادی و پروانه‌های توربین، سرامیک‌ها یا کامپوزیت‌های با ماتریس سرامیکی با مقاومت حرارتی بالا تولید شده برای اجزای داغ، مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از ارزش تعیین‌کننده‌ای برخوردار خواهند بود. دستیابی به دماهای ورودی توربین بالاتر و سپس کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری منجر به افزایش طول عمر قطعات می‌گردد. مشابه با استفاده اولیه از سوپرآلیاژها، کیفیت فرآیند، کاربرد کامپوزیت‌های با ماتریس سرامیکی یا سایر مواد پیشرفته با دمای بالا را محدود می‌نماید. فرآیندهای جدید جهت کاهش آسیب سطح و تنش پسماند ناشی از ماشین‌کاری، باید مورد توجه قرار گیرد. ساخت افزودنی یک فناوری بالقوه شکل‌دهی

دیجیتال است، اما دقت مکانیکی و هندسی اجزای کامپوزیت‌های با ماتریس سرامیکی تولید شده توسط ساخت افزودنی ضعیف است. انواع فن‌آوری‌های ساخت افزودنی (شامل نوشتن با جوهر مستقیم، تزریق چسب، تف جوشی لیزری انتخابی[۲]، ساخت اشیای چندلایه و لیتوگرافی سه‌بعدی) هنوز ویژگی‌های قابل استفاده برای توربین‌هایی با نیاز به دقت بالا و ظرفیت باربری بالا را نشان نداده‌اند. فناوری ساخت افزودنی که برای تولید کامپوزیت‌های سرامیکی مستحکم با الیاف پیوسته با خواص مکانیکی بهتر مناسب است، یک مسیر مهم خواهد بود.

در همین حال، با فناوری ساخت افزودنی، تولید دیجیتال سوپرآلیاژهای مبتنی بر نیکل، امکان حفاظت گرمایی فعال در MGTها را فراهم می‌نماید، زیرا پردازش هندسه‌های پیچیده از جمله کانال‌های خنک‌کننده یا فضا برای لوله‌های حرارتی، اجرا می‌شود. با اجازه دادن به فن‌آوری‌های خنک‌کننده تک‌فاز یا دوفاز برای اعمال بر پروانه گریز از مرکز، دمای جریان براساس عملکرد مواد موجود افزایش می‌یابد. فناوری پوشش همچنین بخش مهمی از حفاظت حرارتی MGT خواهد بود. اگرچه مقالات حاضر، از عدم استفاده از پروانه‌های گریز از مرکز رنج می‌برد، تلاش‌ها در توربین‌های MGT براساس فناوری‌های پوشش موجود باید به شدت تشویق گردد.

انتظار می‌رود نسل بعدی شکل توربین MGT، یک پروانه سرامیکی مجهز به پوشش ضدخوردگی و کانال‌های خنک‌کننده داخلی باشد که ترکیبی از حفاظت غیرفعال و فناوری خنک‌کننده فعال است.

فن‌آوری احتراق تطبیقی

فن‌آوری احتراق تطبیقی باید برای کاهش انتشار (گازهای گلخانه‌ای) و گسترش بیشتر کاربرد سوخت‌های سازگار با محیط‌زیست و پایدار مورد بررسی قرار گیرد. طرح‌بندی یا طراحی‌های جدید مبتنی بر فن‌آوری ساخت پیشرفته، قابل انتظار است. در میان فناوری‌های موجود، احتراق بدون شعله عملکرد آلایندگی بهتری دارد و برای طیف

[2] Selective laser sintering

گسترده‌ای از گرمازایی سوخت مناسب است. تحقیقات و کاربردهای بیشتر در MGTها بسیار مورد توجه است. ساختار/فناوری احتراق عمومی برای کاهش هزینه‌های سخت‌افزاری تعویض MGT بین سوخت‌های مختلف، یکی دیگر از مسیرهای جذاب خواهد بود. در آینده، تمرکززدایی از فناوری احتراق/انفجار با حجم ثابت، یک تحول انقلابی در MGTها خواهد بود.

روش‌های شبیه‌سازی با دقت بالا و بهینه‌سازی هوشمند

روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی قبلاً برای طراحی هندسی و تأیید اجزای MGT به کار گرفته شده‌اند که هزینه آزمایشی را تا حد زیادی کاهش داده و چرخه طراحی را کوتاه می‌نماید. با پیشرفت زیاد در توانایی محاسباتی، استفاده از شبیه‌سازی عددی با دقت بالا برای ثبت پدیده‌های آیرودینامیکی و انتقال حرارت، دقیق‌تر خواهد شد، در نتیجه می‌توان مکانیزم ایجاد شده را به‌صورت منطقی توضیح و تفسیر نمود و مبنای مناسبی برای طراحی اجزا ایجاد نمود. روش‌های هوش مصنوعی مانند الگوریتم‌های ژنتیکی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در طراحی و بهینه‌سازی بسیار مفید هستند.

با توجه به اینکه بیشتر کارهای پژوهشی کنونی بر اجزای مستقل متمرکز شده‌اند، تعامل بین اجزای مختلف به ندرت بررسی می‌شود. فناوری دوقلو دیجیتالی[3]، فرآیند توسعه فناوری شبیه‌سازی آینده است. مدل‌سازی دیجیتال مبتنی بر MGT می‌تواند تبادل اطلاعات آنلاین را فراهم نماید، که تا حد زیادی به مطالعه کار پویا و اثرات به هم پیوسته بین اجزا، کمک می‌کند. جمع‌آوری داده و داده‌کاوی بر اساس مدل دوقلو دیجیتالی، ابزاری جهت دستیابی به پایش سلامت و پیش‌بینی عمر خدمات است که برای MGTهای تجاری مهم است و فرآیندی متمرکز خواهد بود.

[3] Digital twin technology

فن‌آوری تبادل حرارت با بازدهی بالا و هزینه کم

مبدل‌های حرارتی نقش مهمی در MGTها و همچنین در سیستم‌های جفت‌کننده مربوطه آن‌ها ایفا می‌نمایند. در صورتی که هزینه‌های مواد به‌طور عینی وجود داشته باشد، فناوری تبادل حرارت کارآمد، به‌طور قابل‌توجهی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اتلاف جریان را کاهش می‌دهد. مبدل‌های حرارتی سطحی اولیه و مبدل‌های حرارتی میکروکانالی دارای پتانسیل‌های خاصی هستند. اعتقاد بر این است که رویکردهای افزودنی، هزینه‌ها را کاهش می‌دهند، همچنین انتظار می‌رود فناوری‌های بیونیک[۴] اتلافات اضافی در طول افزایش ظرفیت انتقال حرارت را کاهش دهند. مواد با مقاومت در برابر درجه حرارت بالا، رسانایی حرارتی بالا و ظرفیت حرارتی کم به افزایش محدوده کاری و کاهش اینرسی حرارتی مبدل حرارتی کمک می‌نمایند.

چرخه‌های بازیابی گرمای اتلافی کارآمد

فناوری تولید مشترک فعلی عمدتاً، بازیابی گرمای اتلافی را با گرمایش مستقیم یا سرمایش جذبی انجام می‌دهد. گرمای اتلافی به‌صورت جداگانه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه راندمان پایین است. در میان رویکردهای مختلف، موتور استرلینگ و چرخه ORC، روش‌های کارآمدتری برای استفاده از گرما هستند که انتظار می‌رود برای بازیابی گرمای اتلافی MGTها اعمال شوند. عملکرد مشارکتی MGTها و چرخه بازیابی گرما باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد تا بازده حرارتی بالا به دست آید.

فن‌آوری کنترل هوشمند

[4] bionic

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

تنظیم چرخه‌های پیچیده، از جمله MGTها، بدون شک پیچیده است، و این مستلزم ایجاد یک مدل تنظیم سراسری و همچنین یک روش کنترل برای هر سیستم خاص است. با این حال، برای کاربردهایی مانند گسترده‌دهنده دامنه، MGTها تنها به‌عنوان دستگاه‌های تولید برق با یکپارچگی بالا پیاده‌سازی می‌شوند و چنین کاربردهایی، نیازمندی‌های پاسخگویی بالاتری را برای MGTها فراهم نموده‌اند. توسعه سیستم‌های کنترل هوشمند برای کاهش تاخیر و خطای پاسخ در شرایط دینامیکی قابل توجه است. برخی از طرح‌های کنترلی پیشرفته مبتنی بر PID پیشنهاد شده‌اند و تنظیمات با پیش‌بینی هوشمند از طریق شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های ژنتیکی و یادگیری ماشین، اکنون در دست بررسی بیشتر هستند. علاوه بر این، با توجه به اینکه سیستم کنترل موجود در MGTها معمولاً با یک استراتژی شی واحد روی دریچه سوخت است، توسعه کنترل فعال در ژنراتورهای پرسرعت مکمل خوبی است. این موضوع برای MGTهای تجاری با ویژگی‌های شفت یکپارچه و با قابلیت راه‌اندازی و تولید برق با دینام یکسان، برجسته‌تر می‌گردد.

کلیدواژه‌ها

تولید پراکنده، توربین‌های گازی میکرو (MGTs)، کمپرسور، توربین، بهینه‌سازی

Distributed generation, Micro gas turbines (MGTs), Compressor, Turbine, Optimization

Doi: 10.1016/j.jppr.2923.01.002

مرجع

J. Li, Y. Li, “Micro gas turbine: developments, applications, and key technologies on components”, Propulsion and Power Research, 2023, Vol. 12, pp. 1-43.

POLYM PART

مرجع پلیمر در بازار ایران