

ترکیب موتور انفجار ضربه ای^۱ با موتور توربوفن در هواپیماها برای افزایش نیروی پیشران

مهندس فواد ظهوری، مهندس مجید سروش
(دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا - دانشگاه تربیت مدرس)

چکیده

دانشمندان و مهندسان پیشران بر روی ترکیب موتورهای توربوفن با موتورهای انفجار ضربه ای مطالعه می کنند، که در آینده نه چندان دور به ترکیب این دو موتور برای دستیابی به نیروی پیشران بالا با مصرف احیاکننده کم، دست پیدا خواهند کرد. این ترکیب تنها برای ایجاد سرعت بالا در هواپیماها به کار برده نمی شود، بلکه برای بالا بردن بازده موتور و کاهش آلودگی هوا نیز مورد استفاده قرار می گیرد. در این نوع ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور توربوفن، مسئله دمای گازهای خروجی برای افزایش نیروی پیشران بسیار مهم است که در این مقاله به اثر دمای بالای گازهای خروجی در این موتور ترکیبی برای افزایش نیروی پیشران پرداخته می شود.

واژه های کلیدی: موج انفجاری (Detonation)، شعله (Deflagration)، موتور انفجار ضربه ای، توربوفن، هوای گذردهی (By Pass)

علائم:

نحوه پیدایش موج انفجاری در موتور انفجار ضربه ای بر اثر اجتماع شعله در داخل موتور می باشد (شکل ۱). حرکت موج انفجاری بسیار سریعتر از حرکت شعله است. سرعت زیاد موج انفجاری باعث می شود که فرصت کافی برای موازنه و تعادل فشار وجود نداشته باشد، بنابراین این سیکل بسیار شبیه سیکل حجم ثابت می باشد (شکل ۲). بازده ترمودینامیکی عبارت است از کار خروجی تقسیم بر گرمای ورودی که مقدار آن در فرایند احتراق در فشار ثابت ۲۷٪، در حجم ثابت ۴۷٪ و در سیکل موج انفجاری ۴۹٪ می باشد. از شکل (۲) و اعداد ارائه شده از بازده ترمودینامیکی این نتیجه حاصل می شود که سیکل موج انفجاری بسیار نزدیک به سیکل حجم ثابت می باشد.

تفاوت بین موج انفجاری و شعله

شعله با سرعت مادون صوت و موج انفجاری با سرعت

V_0	سرعت گازهای خروجی
T_c	دمای گاز خروجی از محفظه احتراق
I_s	ایمپالس ویژه
T	نیروی پیشران

مقدمه

موج انفجاری در اثر سوختن فوری مخلوط احیاکننده و اکسیدکننده بوجود می آید که باعث آزاد شدن انرژی شیمیایی بسیار زیادی می شود. لازم به ذکر است که موج انفجاری در بیشتر مواقع مخرب می باشد و همیشه مطلوب است که از بوجود آمدن آن بخصوص در موتورهای احتراق داخلی جلوگیری بعمل آید.

¹ Pulse Detonation Engine

مافوق صوت در حرکت می باشند. همچنین فشار موج انفجاری خیلی بیشتر از فشار شعله تولید شده می باشد.

سیکل موتورهای انفجار ضربه ای

- ۱) در ابتدای این سیکل احیاکننده با اکسید شونده مخلوط می شود و در اثر جرقه باعث ایجاد شعله شده که این شعله ها یکدیگر را تقویت کرده و باعث ایجاد موج حاصل از انفجار می شود (شکل ۳- الف).
- ۲) موج های حاصل از انفجار در این مرحله مخلوطی از واکنش دهنده های احتراق در داخل لوله محفظه احتراق پخش می شوند؛ و محصولات احتراق در پشت موج حاصل از انفجار باقی می ماند (شکل ۳- ب).
- ۳) در این مرحله موج انفجاری به قسمت خروجی در موتور می رسد (شکل ۳- ج).
- ۴) در این مرحله موج انفجاری از موتور خارج شده و وارد محیط اطراف می شود و در اثر این فرآیند موج های انبساطی برگشتی به داخل موتور برمی گردد (شکل ۳- د).
- ۵) هنگامی که موج انبساطی به دیواره یا صفحه می رسد، موج انبساطی شروع به برگشت می کند (شکل ۳- ه).
- ۶) در این مرحله فشار پشت خیلی دچار افت می شود و موج های انبساطی بوسیله احیاکننده و اکسید کننده به سمت بیرون هدایت می شوند (شکل ۳- و).
- ۷) در این مرحله موج های انبساطی به انتهای محفظه احتراق موتور برای خروج می رسند. لازم به ذکر است که محصولات احتراق به طور کامل از محفظه احتراق خارج می شوند (شکل ۳- ز).
- ۸) در این مرحله موجهای انبساطی از انتهای موتور وارد محیط شده و موجهای برگشتی تراکمی به همراه واکنشگرها به داخل موتور بر می گردند (شکل ۳- ح).
- ۹) در این مرحله موج برگشتی به دیواره برخورد کرده و نیروی پیشران را به وسیله پرنده انتقال می دهد و همچنین موج ضربه ای اجازه این را می دهد که واکنشگرهای احتراق با یکدیگر ترکیب شده و جرقه زده شود تا باعث انتقال موج انفجاری دیگری شود (شکل ۳- ط).

مکانیسم طراحی موتور انفجار ضربه ای

با وجود اینکه طراحی موتور انفجار ضربه ای بسیار پیچیده به نظر می رسد این موتور دارای مکانیسم بسیار ساده ای می باشد.

افزایش فشار زیاد در پشت موج انفجار باعث ایجاد نیروی پیشران می شود. این فشار زیاد مانع از ورود احیاکننده و پاشش آن در داخل محفظه احتراق می شود برای غلبه بر این فشار بمنظور ورود احیاکننده، باید از پمپ های بسیار قوی پاشش احیاکننده استفاده نمود.

احیاکننده بوسیله یک پمپ قوی به داخل موتور پاشیده، و در همین زمان هوا بوسیله کمپرسور وارد موتور می شود. قبل از آنکه احیاکننده و هوا وارد محفظه احتراق شود به یک صفحه دوار (Shutter) شامل سوراخ هایی با زوایای مختلف رسیده که توسط شفتی که بوسیله کمپرسور می چرخد به حرکت در می آید. احیاکننده و هوا در داخل این صفحه های دوار با یکدیگر مخلوط شده و سپس وارد محفظه احتراق می شود. بعد از ترکیب احیاکننده با هوا، عمل جرقه زدن برای ایجاد موج انفجاری انجام می گیرد (شکل ۴).

مزیت های موتور انفجار ضربه ای

فشار متراکم شده در قسمت ورودی موتور نیاز به کمپرسور، توربین و اجزای سنگین برای نگهداری احیاکننده مایع را از بین می برد. در طراحی موتورهای انفجار ضربه ای نیاز به کمپرسور های پیچیده و یا ماشین آلاتی که قطعات آن متحرک است، نمی باشد. بدون قسمت های متحرک و جداشونده از یکدیگر، قطعات به هم پیوسته و با وزن کم مورد نیاز است.

سیستم ساده مکانیکی موتورهای انفجار ضربه ای یکی از مزیت های برتر این موتور نسبت به سایر پیشران ها است. همچنین تعداد قطعات بسیار کم در داخل موتور انفجار ضربه ای باعث کاهش هزینه تعمیر و نگهداری و سادگی در تعمیر این موتورها شده است.

یکی دیگر از عواملی که باعث تعمیر ساده موتور انفجار ضربه ای و همچنین کاهش قیمت موتور نسبت به دیگر سیستم های جلوبرنده می شود، کم بودن قطعات درگیر با یکدیگر است.

سبکی وزن این موتور که ناشی از مکانیسم بسیار ساده آن می باشد باعث بهتر شدن پیشرانش نسبت جرم در موتور می شود.

یکی دیگر از برتری های موتور انفجار ضربه ای بازده بالای ترمودینامیکی این موتورها و قدرت زیاد جلوبرندگی می باشد.

نیروی پیشرانش تولید شده توسط موتور انفجار ضربه ای، سرعت وسیله پرنده را تا سرعت پنج ماخ افزایش می دهد.

موتور توربوفن

اساس کار موتورهای توربوفن به این صورت است که احتراق برای چرخاندن فن های بزرگ به کار برده می شود، در اثر چرخش این فن ها هوای ورودی به داخل محفظه احتراق هدایت شده؛ و مقداری از هوای ورودی از روی محفظه احتراق گذشته و از طریق اگزوز به همراه گازهای گرم به محیط اطراف فرستاده می شود؛ این فرآیند باعث پیشرانش در وسیله پرنده می شود.

موتورهای توربوفن در واقع میان بری بین جت ملخ دار و جت خالص می باشند از این رو بازده پیشرانش آنها از موتورهای توربوجت بیشتر بوده و در سرعت های نسبتا کم هم عملکرد خوبی دارند. در این نوع موتورها قسمتی از نیروی پیشرانش توسط فن و قسمتی دیگر توسط گاز های خروجی تامین می گردد. استفاده از موتور توربوفن در اصل بعنوان روشی برای تقویت راندمان جلوبرندگی موتور جت (با کاهش سرعت متوسط جت) به خصوص در سرعت های بالا در نظر گرفته شده است. کاهش سرعت متوسط جت تاثیر زیادی بر صدای جت دارد.

صدای این نوع موتورها، دودشان و نیز مقدار مصرف ویژه احیاکننده آنها کمتر از موتورهای توربوجت است. پایین بودن مصرف ویژه احیاکننده به دو دلیل زیر است:

(۱) دبی جرمی کل هوای ورودی بسیار بیشتر از موتور توربوجت با همان مقدار رانش است.

(۲) بازده گرمایی در موتور توربوفن بسیار بالاتر از موتور توربوجت است. علت این امر آن است که کار لازم برای چرخاندن فن از طریق توربین فراهم می شود بنابراین دمای گازهای خروجی از توربین در صورت وجود فن بسیار پایین تر خواهد بود. از این رو

تلفات انرژی ناشی از عدم استفاده انرژی گرمایی در گازهای خروجی بسیار کمتر است و بنابراین بازده گرمایی افزایش می یابد.

نیروی رانش موتورهای توربوفن با نسبت هوای گذردهی بالا به سبب دبی ورودی زیاد و در نتیجه نیروی مقاوم بالا، نسبت به سرعت پیشروی بسیار حساس می باشد. همچنین استفاده از نسبت هوای گذردهی بالا، موجب افزایش نیروی مقاوم می گردد، زیرا سطح جلویی موتور افزایش یافته و مقاومت بدنه موتور (Nacelle) قابل توجه می شود. در نسبت هوای گذردهی برابر ۵ نیروی رانش در حدود ۲۵٪ به هنگام شتاب گرفتن هواپیما از حالت سکون تا سرعت بلند شدن، کاهش می یابد.

در ارتفاع های پایین به علت بیشتر بودن چگالی هوا دبی ورودی هوا ورودی بیشتر می باشد لذا در مقایسه با یک موتور جت مشابه با همان نیروی رانش، مقدار نیروی رانش بلند شدن به طور چشم گیری افزایش پیدا خواهد کرد.

ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور

توربوفن

در ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور توربوفن، هوای کنار گذر در اطراف محفظه احتراق وارد لوله های موتور انفجار ضربه ای شده و باعث احتراق در داخل موتورهای انفجار ضربه ای می شود، این لوله ها یک سیکل موج حاصل از انفجار را ایجاد می کنند.

در این ترکیب دیگر هوای سرد کنار گذر به همراه هوای داغ خروجی توربین، از نازل خارج نمی شود بلکه هوای داغ خروجی موتور انفجار ضربه ای و هوای داغ خروجی توربین به طور همزمان از نازل خارج می شوند. دمای گازهای خروجی در نازل رابطه مستقیمی با سرعت گازهای خروجی دارد (رابطه ۱).

$$V_o = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} RT_c \left[1 - \left(\frac{P_o}{P_c} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad \text{رابطه (۱)}$$

با توجه به رابطه (۱) اگر دمای گازهای خروجی بالا برود سرعت گازهای خروجی نیز افزایش پیدا می کند.

[۲]J.M. Austin, J.E. Shepherd. Detonations in hydrocarbon fuel blends, 2003

[۳]S. Ahmaniemi, P. Vuoristo, T. Mantyla. Improved sealing treatments for thick thermal barrier coatings.2002

[۴]Darryl J. Genovesi , Lyle N. Long, A Java-Based Direct Monte Carlo Simulation of a Nano-Scale Pulse Detonation Engine

[۵]S.B. Murray , P.A. Thibault , F. Zhang , D. Bjerketvedt , A. Sulmistras , G.O. Thomas , A. Janssen ,and I.O. Moen . THE ROLE OF ENERGY DISTRIBUTION ON THE TRANSMISSION OF DETONATION

[۶]X. He and A. R. Karagozian. Numerical Simulation of Pulse Detonation Engine Phenomena .2003

[۷]Fred Schauer, Jeff Stutrud and Royce Bradley. Detonation Initiation Studies and Performance Results for Pulsed Detonation Engine Applications. 39th AIAA Aerospace Sciences Meeting& Exhibit 8-11 January 2001

[۸]Robert G. Johnson-Lieutenant. DESIGN, CHARACTERIZATION, AND PERFORMANCE OF A VALVELESS PULSE DETONATION ENGINE Master of Science in Astronautical Engineering-June 2000

[۹]Dr. Robert J. Santoro, George L. Guillet Professor. Experimental Study of Rounded Ejector Inlets for Pulse Detonation Engines.2004

[۱۰]Ziaul Huque. EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SLAG REMOVAL USING PULSE DETONATION WAVE TECHNIQUE.2003

[۱۱] E. Wintenberger, J.M. Austin, M. Cooper, S. Jackson, and J.E. Shepherd. Impulse of a Pulse Detonation Engine: Single-Cycle Model.2002

[۱۲]Brian Frankey, Fred Schauer, Royce Bradley, and John Hoke. EVALUATION OF A HYBRIDPISTON

با توجه به متناسب بودن ایمپالس ویژه با سرعت خروجی گاز مطابق رابطه (۲) مشاهده می شود، با بالا رفتن سرعت گازهای خروجی، ایمپالس ویژه افزایش می یابد.

$$I_s \approx V_0 \quad \text{رابطه (۲)}$$

همچنین بین ایمپالس ویژه و نیروی پیشرانش رابطه ای مطابق رابطه (۳) برقرار است.

$$T = I_s \times m \quad \text{رابطه (۳)}$$

طبق رابطه (۳) مشاهده می شود که با افزایش ایمپالس ویژه، در اثر بالا رفتن دمای گازهای خروجی در نازل، نیروی پیشران افزایش می یابد.

در ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور توربوفن دمای گازهای خروجی بسیار بالا می رود، به طوری که این دما بین ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد تا ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد می رسد. همین دمای بالا باعث افزایش قبل ملاحظه نیروی پیشران در این نوع موتور می شود.

نتیجه گیری

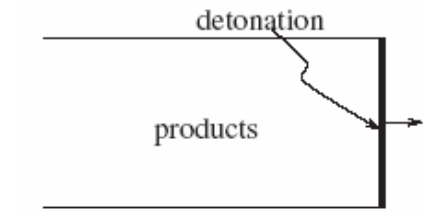
ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور توربوفن باعث ایجاد نیروی پیشرانش بالا و مصرف احیاکننده کم خواهد شد.

ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور توربوفن، در هواپیماهای مسافربری این امکان را می دهد که هواپیما با سرعت بالا به پرواز دربیاید؛ علاوه بر این افزایش بازدهی پیشران و کاهش آلاینده ها در محیط یکی دیگر از فواید این ترکیب می باشد. استفاده از این نوع موتور به هواپیماهای مسافربری امکان پرواز بین قاره ای در مدت زمان کم با مقدار مصرف کم احیاکننده را می دهد (شکل ۵).

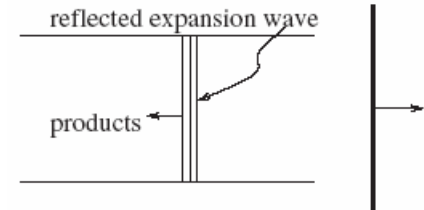
ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور توربوفن، دارای پس سوز با هوای کم گذردگی در هواپیماهای جنگنده نظامی می تواند کارایی داشته باشد.

مراجع

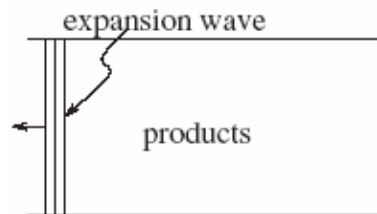
[۱] Arun K. Sehra, Woodrow Whitlow Jr. Propulsion and power for 21st century aviation. NASA Glenn Research Center, NASA Kennedy Space Center,2004



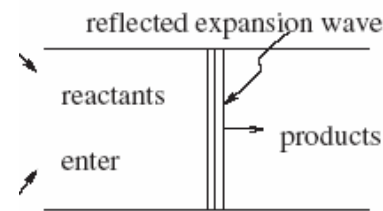
ج



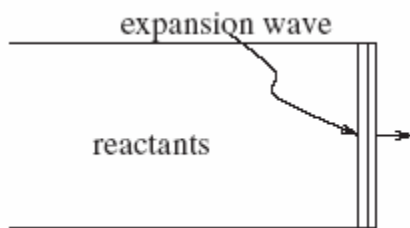
د



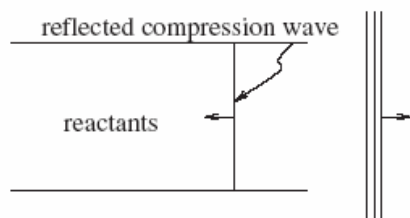
ه



و



ز



ح

PULSED DETONATION ENGINE. AIAA 2002

[۱۳] S. Shapiro, J. King, A. Karagozian and R. M'Closkey. Optimization of Controlled Jets in Crossflow. AIAA 2003

[۱۴] X. He and A. R. Karagozian. Reactive Flow Phenomena in Pulse Detonation Engines. AIAA 2003

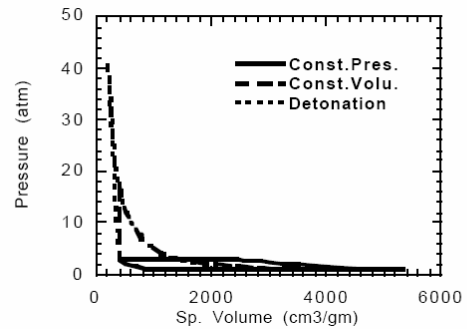
۲۰۰۳

[۱۵] مکانیک و ترمودنامیک پیش برنده های فضائی، ف.امی،

موسسه نشر جهاد، ۱۳۷۹

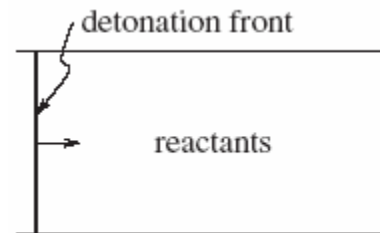


شکل ۱: تبدیل شعله به موج انفجاری

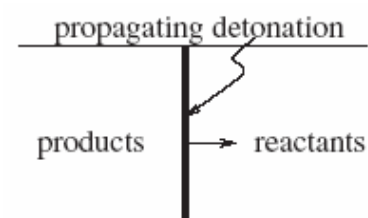


شکل ۲: مقایسه احتراق در سیکل فشار ثابت، حجم ثابت و

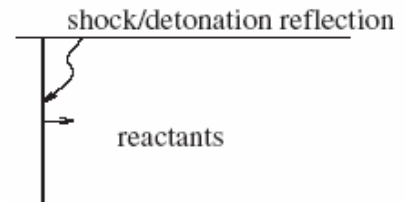
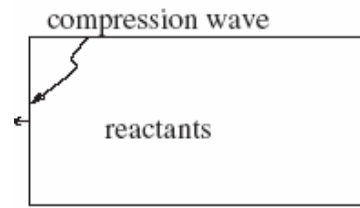
موج انفجاری



الف

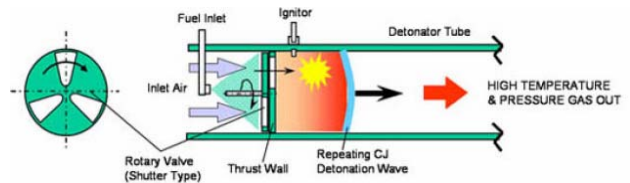


ب

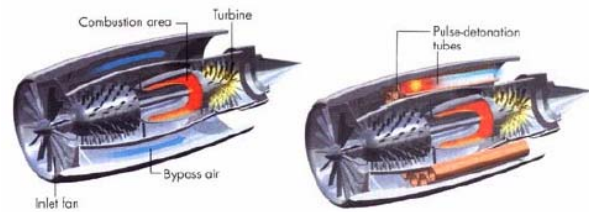


ط

شکل ۳(الف-ط): سیکل موتور انفجار ضربه ای



شکل ۴: نمایی از مکانیسم موتور انفجار ضربه ای



شکل ۵: ترکیب موتورهای انفجار ضربه ای با موتور توربوفن