Archive of SID

مجله علمی- پژوهشی مواد پرانرژی

سال سوم- شماره ۱- شماره پیاپی ۵- بهار وتابستان ۸۷

تأثیرRDX برخواص شیمی- فیزیکی و بالستیکی پیشرانه های دوپایه اکسترودی جامد

علی صابری مقدم[۱]*، بهرام مژده[۲]

تهران- دانشگاه صنعتی مالک اشتر

چکیده

پیشرانه های دوپایه اصلاح شده کامپوزیتی (CMDB)، با افزودن ترکیبات پرانرژی به ساختار پیشرانه های دوپایه ساخته می شوند. این نوع پیشرانه ها به سه دسته کلی تقسیم می شوند، که حاوی پرکلرات آمونیوم(AP) وآلومینیم (Al) یا ترکیبات نیترآمینی همچون HMX یا RDX (پیشرانه بدون دود) و یا حاوی ترکیبات HMX، Al، AP یاRDX (پیشرانه های پرانرژی) هستند. دراین مقاله، پیشرانه هایCMDB نیترآمینی مد نظرقرار گرفته و تاثیر و نقشRDX بر پارامتر های بالستیکی، بخصوص ایمپالس ویژه مورد بررسی و ارزیابی واقع شده است. مقایسه نتایج، براساس یک نمونه سوخت مرجع انتخابی و تستهای استاتیکی درشرایط استاندارد و در یک موتور مدل، انجام گرفته است. ابتدا، چند نمونه از فرمولاسیون سوخت مرجع درکنت تحقیقاتی تهیه و مورد تستهای شیمی - فیزیکی و بالستیکی قرار گرفت و نتایج، جهت مقایسه ثبت گردید. سپس چند نمونه سوخت حاوی نیترآمین(RDX) با ۵، ۱۰، ۱۵و۲۰ درصد نیترآمین، مطابق با روند فرآیند ساخت پیشرانه های دو پایه تهیه، تستهای شیمی- فیزیکی (تعیین کالری، دانسیته، خواص مکانیکی) و بالستیکی (ایمپالس ویژه، سرعت سوزش در شرایط واقعی موتور و ایمپالس کل) بر روی نمونه های ساخته شده انجام گرفت و نتایج بدست آمده با نتایج نمونه مرجع، مقایسه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایشRDX، کالری، دانسیته و ایمپالس ویژه ی پیشرانه افزایش می یابد. با این حال، سرعت سوزش وخواص مکانیکی پیشرانه، کاهش می یابد.

واژه‌های کلیدی: پیشرانه، جامد دوپایه، ایمپالس ویژه، CMDB ، نیترآمین، اکسترود، RDX، HMX .

۱. مقدمه

پیشرانه های موشک، مواد محترقه ای هستند که برای سوزش یکنواخت و بدون خطر انفجار، جهت تامین انرژی لازم برای پیشرانش موشک، طراحی شده اند. اولین نسل پیشرانه های جامد در دهه های ۳۰ و ۴۰ که بطور واقعی در راکتها و موشکها مورد استفاده قرار گرفتند، پیشرانه هایی بودند که حاوی دو جزء اصلی در ترکیب خود بودند. این دو جزء، عبارت بودند از

۱- استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پیشرانه

* E-mail: saberi_mog@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

نیتروگلیسیرین و نیترو سلولز و این پیشرانه ها را پیشرانه های جامد دو پایه نامیدند. این پیشرانه ها بدلیل سادگی فرآیند ساخت و پایین بودن هزینه تولید و قابل دسترس بودن مواد اولیه و دیگر مزایا، کاربرد فراوانی پیدا کرده اند. نسل دوم پیشرانه های جامد، پیشرانه های کامپوزیت هستند که از دهه ۴۰ به بعد، مورد توجه قرار گرفتند. عملکرد پایین و عدم اتصال آنها به بدنه، در پیشرانه های دو پایه و همچنین مشکلات ابعادی از لحاظ محدودیت در قطر گرین و نیز ایمپالس ویژه پایین، باعث گردید تا پیشرانه های کامپوزیتی مورد توجه قرار گیرند[۱]. شرکتهای مختلف، تلاشهای زیادی برای بهبود عملکرد و کیفیت دو نسل اصلی پیشرانه های دوپایه و کامپوزیت نموده اند. درنهایت، این تلاشها به ساخت پیشرانه های جدیدی بعنوان نسل سوم پیشرانه های جامد بصورت محصولات پرانرژی منجر شده است. دسته اخیر امروزه تحت عنوان پیشرانه های دو پایه کامپوزیتی اصلاح شده یا CMDB[۱] شناخته می شوند. پیشرانه های نیترآمینی حاوی RDX[۲]، ضمن افزایش حدود ۲۰ درصدی ایمپالس ویژه، خواص بهینه پیشرانه های دو پایه (بی دود بودن) و دمای پایین شعله (نسبت به پیشرانه های کامپوزیت) را حفظ می کنند، ضمن اینکه هزینه فرآیند تولید آنها نسبت به پیشرانه های کامپوزیت، پائین تر است [۲] و [۳].

۱-۱- پیشرانه های دوپایه

پیشرانه های دوپایه، اساساً بر پایه نیتروسلولز (گرمای احتراق J/gr ۳۹۳+)، (۷۰٪-۴۰٪) و نیتروگلیسیرین (گرمای احتراق J/gr ۷۳۱۵+)، (۴۱٪-۱۵٪) تهیه می شوند. ساخت پیشرانه های دو پایه، از ترکیب کردن این دو، با استفاده از فرآیند ژلاتینی کردن که بر پایه مکانیزم عمل متقابل بین مولکولهای نیتروگلیسیرین وارد شده در شبکه ماکرو مولکولهای نیتروسلولز و اتمها یا گروههای اتمی این پلیمرها، تشکیل یافته است. به منظورتسهیل در عملیات اختلاط و ژلاتینه شدن، موادی تحت عنوان نرم کننده (که معمولاً از نظر مقدار انرژی خنثی محسوب می گردند)، استفاده می شوند. درصد نرم کننده ها درفرمولاسیونهای مختلف متنوع است، اما معمولاً آنها را به میزان (۱۰- ۰ درصد) درساخت پیشرانه بکار می برند. نرم کننده های متداول، عبارت از فتالاتها، استاتها و آدیپاتها هستند. ازجمله افزودنیهای دیگر که به پیشرانه های دوپایه افزوده می شود، پایدارکننده ها هستند. بدون وجود پایدار کننده های شیمیایی، که معمولاً هسته بنزنی دارند و از طریق واکنش با اکسیدهای نیتروژن عمل می کنند، تجزیه کنترل نشده نیتریک استرها، مشکلات جدی هم ازنظرکیفیت وهم از نظر ایمنی و هم از نظر عملکردی برای پیشرانه های دوپایه به همراه خواهد داشت. بطور کلی پایدار کننده ها از تخریب زود هنگام پیشرانه ها جلوگیری می کنند. سنترالیت ها، آکاردیت ها و ۲- نیترو دی فنیل آمین، متداول ترین پایدار کننده ی پیشرانه های دوپایه هستند. سرعت سوزش پیشرانه های دوپایه تا حد زیادی با افزایش فشار، افزایش می یابد. لذا، افزودنیهای سرعت سوزش به منظور کاهش اثرات نوسانات فشار بر سرعت سوزش و همچنین جهت بهبود سرعتهای سوزش به فرمولاسیون پیشرانه اضافه می شوند. متداولترین افزودنیهای سرعت سوزش عبارت از نمکهای سرب و مس برپایه سالیسیلات، اکتانات، رزورسیلات، استئارات و اکسید های فلزی، می باشند[۱].

پیشرانه های دوپایه با توجه به مزایایی که دارند، دارای نقاط ضعف بسیاری هستند و این باعث گردیده که محققین بدنبال سوختهایی با توان عملکرد بالاتر و درصدد برطرف کردن نقاط ضعف آنها برآیند. مهمترین این نقایص عبارتند از:

۱- دانسیته نسبتاً پایین؛

۲- محدودیت درقطرگرین؛

۳- غیر متصل بودن گرین به بدنه و نیاز به نگهدارنده جهت تثبیت موقعیت گرین؛

۴- مهاجرت NG ازتوده پیشرانه؛

۵- تجزیه تدریجی نیترآت استرها

۶- عملکرد نسبتاً پایین درمقایسه با پیشرانه های کامپوزیت؛

۷- خطرات متوسط به بالا در تولید (بخصوص درفرآیند اکسترودی)[۱]، [۴] و [۵].

بنابراین روند توسعه پیشرانه های دوپایه در جهت برطرف نمودن معایب پیشرانه های دوپایه می باشد. از جمله می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

الف) حرکت به سمت پیشرانه های CMDB به منظور افزایش دانسیته و عملکرد بالاتر؛

ب) حرکت به سمت پیشرانه های با خواص مکانیکی بهتر، اتصال به بدنه، پیشرانه های پرانرژی؛

ج) بهبود اجزاء پیشرانه های دوپایه به منظور بهبود پایداری، کاهش حساسیت و کاهش مواد سمی.

باید توجه داشت که دو پارامتر اساسی در انتخاب یک پیشرانه، ایمپالس ویژه و دانسیته ی سوخت می باشند و یکی از مهمترین نقایص پیشرانه های دوپایه پائین بودن دانسیته و ایمپالس ویژه آنهاست که جهت رفع این نقص،

۱- Composite Modified Double Base Propellants

۲- Trimethylene tri nitramine

www.SID.ir

Archive of SID

پیشرانه های CMDB مطرح شدند. این پیشرانه ها که به آنها پیشرانه های دوپایه پرانرژی نیز گفته می شود، درزمره قویترین پیشرانه های جامد محسوب می شوند[۵].

۱-۲- پیشرانه های دو پایه کامپوزیتی اصلاح شده (CMDB)

پیشرانه های CMDB، به علت انرژی و ایمپالس ویژه بالا و محدوده وسیع سرعت سوزش، در بسیاری از کاربردها به پیشرانه های دوپایه و مرکب متداول ترجیح داده می شوند. همچنین برتری پیشرانه های CMDB نیترآمینی، نسبت به پیشرانه های مرکب، سوختن عاری از آلودگی و بدون دود بودن آنها می باشد[۵]. فرآیند تولید پیشرانه های نیترآمینی اساساً مشابه فرآیند تولید سوخت دوپایه است. باید توجه داشت که درفرآیند تولیدپیشرانه های نیترآمینی، هرچه اندازه ذرات RDX ریزتر باشد، بهتر است، زیرا با بکار بردن ذرات ریزتر نیترآمین درسوخت CMDB میتوان نمای فشار (n) راپایین آورد و مسئله تراوش و ریزش نیترآمین از پیشرانه را کمتر کرد[۶].

جهت بهبود انرژی و دانسیته ی پیشرانه های دوپایه، اغلب از نیترآمینهای حلقوی، بخصوص RDX و HMX[1] استفاده شده است. با افزودن RDX به ماتریس سوختهای دوپایه، نمای فشار (n) افزایش می یابد و ازطرف دیگر، سرعت سوزش کاهش می یابد. سوختهای جامد دوپایه نیترآمینی سوختهای پر انرژی پیشرفته ای هستند که سبب تولید ایمپالس ویژه ی بالا می شوند. با افزایش نیترآمینهای حلقوی در پیشرانه های DB و CMDB، نه تنها انرژی خروجی، بلکه پایداری حرارتی سوختها بهبود می یابد. عامل اصلی در انرژی خروجی در این دسته از پیشرانه ها، به گرمای احتراق و گرمای تشکیل بالای RDX و جرم مولکولی پائین محصولات گازی در طی احتراق، نسبت داده شده است. ادعا شده که افزودن بیش از بیست درصد RDX به فرمولاسیون پیشرانه دوپایه، مشکلات انبارداری و تراوش مواد نیترآمینی را موجب می گردد [۷]. با افزودن ترکیبات نیترآمینی به پیشرانه های دوپایه، آنها دستخوش تغییرات اساسی در خواص فیزیکی، مکانیکی و بالستیکی می گردند. بعضی از این تغییرات، مثبت بوده و در راستای افزایش عملکرد پیشرانه می باشد. اما در بعضی مواقع، اثرات منفی به جای گذاشته و برای آن، یک معضل جدی خواهد بود. دراینجا پارامترهای اساسی که با افزایش نیترآمین به پیشرانه های دوپایه بوجود می آید، در زیر آورده شده اند [۷-۱۲].

الف- مزایای پیشرانه های دوپایه نیترآمینی

۱- افزایش ایمپالس ویژه سوخت؛

۲- افزایش دانسیته سوخت؛

۳- کاهش سرعت سوزش (درصورت نیاز به سرعت سوزشهای پایین)؛

۴- بالا بودن ΔH_f وگرمای انفجار(کالری)؛

۵- کاهش جرم مولکولی محصولات احتراق؛

۶- بالا بودن دمای آدیاباتیک شعله (T_f)؛

۷- بی دود بودن و نداشتن علائم ردیابی.

ب- معایب پیشرانه های دو پایه ی نیترآمینی

۱- کاهش خواص مکانیکی سوخت؛

۲- افزایش حساسیت (اصطکاک، ضربه و . . .)؛

۳- کاهش ایمنی در فرآیند تولید؛

۴- افزایش نمای فشار (n).

هدف از این تحقیق، افزایش ایمپالس ویژه ی یک سوخت جامد دوپایه ی بدون مرجع است که ترکیب درصد اجزاء آن عبارت از ۵۱ درصد NC، ۳۵ درصد NG و ۱۴ درصد مواد افزودنی می باشد.گرمای احتراق این پیشرانه J/gr ۳۶۶۵ و ایمپالس ویژه ی آن ۱۹۵/۷ ثانیه است. با توجه به اینکه باید خاصیت بدون دود بودن پیشرانه حفظ شود، لذا مناسب دیده شد که از نیترآمین ها جهت افزایش ایمپالس ویژه پیشرانه استفاده شود، زیرا گزارش شده است که نیترآمین ها ایمپالس ویژه پیشرانه های دوپایه را افزایش می دهند [۷-۱۲]. از بین نیترآمین ها، دو ماده RDX و HMX کاندیدا های خوبی برای این منظورهستند، زیرا که دانسیته آنها ازسایرنیترآمینها بالاتر است وگرمای تشکیل آنها نیز از دیگر نیترآمین ها بالاتر می باشد. جدول (۱)، ویژگیهای نیترآمین های مختلف را که در پیشرانه های دوپایه کاربرد دارند، نشان می دهد. گرچه خصوصیات دو نیترآمین RDX و HMX به هم نزدیک است، اما از لحاظ اقتصادی RDX به مراتب ارزانتر ازHMX می باشد وعلاوه بر این درفرآیند های حلالی، اگر استن به عنوان حلال استفاده گردد، HMX می تواند درحلال استن ازفرم نسبتاً ایمن β به فرمهای پرخطر α وδ تبدیل شود که حساسیت به ضربه و اصطکاک آنها بالاست ولذا می تواند موجب حساس تر شدن پیشرانه تولیدی گردد. لذا RDX به عنوان نیترآمین مناسب برای منظور فوق انتخاب گردید. از آنجایی که ایمپالس ویژه پیشرانه ارتباط مستقیمی با گرمای احتراق آن دارد با توجه به گرمای احتراق سه ماده اصلی مورد نظر برای تهیه فرمولاسیون پیشرانه یعنی NC (۳۹۳۷ J/gr)، NG (۷۳۱۵ J/gr) و

۱- octogen (1,3,5,7- tetra nitro -1,3,5,7- tetra zocane)

www.SID.ir

Archive of SID

RDX (J/gr ۵۵۵۹) [۱] و [۳] و به منظور حفظ درصد سایرافزودنیها درفرمولاسیون پیشرانه مبناء جهت افزودن RDX به فرمولاسیون پیشرانه، مناسب دیده شد تا ازدرصد ماده تشکیل دهنده کم انرژی تر یعنی NC کاسته شود و RDX جایگزین آن گردد[۱۴]. با انجام این کار به صورت تقریبی با افزودن هر پنج درصد RDX به فرمولاسیون پیشرانه، مقدارگرمای احتراق پیشرانه درحدود J/gr ۸۱ و به تبع آن مقدار I_{sp} پیشرانه درحدود سه ثانیه افزایش خواهد یافت. با توجه به نکات فوق، پیشرانه هایی تهیه شدند که حاوی ۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰ درصد RDX بودند که این افزایش درعوض کاهش درصد NC موجود درپیشرانه مبنا بود. پیشرانه های ساخته شده، ازنظر فرآیند پذیری وقابلیت اکسترود، خواص مکانیکی و بالستیکی مورد بررسی قرار گرفتند تا اثر افزودن نیترآمین برروی این خواص درمقایسه با خواص پیشرانه مرجع مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۱- مقایسه ترکیبات نیترآمین ها با یکدیگر [۱،۱۳،۱۵]

ردیف	پارامتر	نام نیترآمین						
		HMX	RDX	[۱]ADN	[۲]CL-20	[۳]Tetryl	[۴]NQ	[۵]EDNA
۱	انرژی تشکیل kJ/kg	+۳۵۳/۶	+۴۱۶/۳	-	-	+۱۹۵/۲	-۷۷۲/۹	-۵۷۲/۲
۲	آنتالپی تشکیل kJ/kg	+۲۵۲/۵	+۳۱۸/۱	-	-	+۱۱۷/۴	-۸۹۱/۶	-۶۸۹/۳
۳	اکسیژن بالانس (٪)	-۲۱/۶	-۲۱/۶	۵۱/۶	-۱۱	-۴۷/۴	-۳۰/۷	-۳۲
۴	نیتروژن (٪)	۳۷/۸۳	۳۷/۸۴	۴۵/۱	۳۸/۳۴	۳۴/۳۹	۵۳/۸۳	۳۷/۳۳
۵	گرمای انفجار (kJ/kg) (calculatd)	۵۶۷۲/۳	۵۷۱۴	-	-	۴۷۶۵/۲	۳۰۴۳	۵۳۳۳/۷
۶	دانسیته (gr/cm^3)	۱/۹۱	۱/۸۲	۱/۷۲	۱/۹۶ ~ ۲	۱/۷۳	۱/۷۱	۱/۷۱
۷	نقطه ذوب (°C)	۲۷۵	۲۰۴	۹۲/۹	۱۶۷	۱۲۹/۵	۲۳۲	۱۷۶/۲
۸	حساسیت به ضربه (N.m)	۷/۴	۷/۵	۳/۷	۵	۳	۴۹ no reaction	۸
۹	حساسیت به اصطکاک (N)	۱۲۰	۱۲۰	>۳۵۳	>۱۲۰	۳۵۳	۳۵۳ no reaction	-
۱۰	سرعت انفجار (m/s)	۹۱۰۰ ρ=۱/۹	۸۷۵۰ ρ=۱/۷۶	-	۹۳۸۰	۷۵۷۰ ρ =۱/۷۱	۸۲۰۰	۷۷۵۰ ρ =۱/۵۵
۱۱	گرمای تشکیل (kJ/mole)	+۷۴/۸	+۶۱/۴	-	۴۱۸	-	-	-
۱۲	قیمت	بسیار بالا	کم	-	متوسط به بالا	متوسط	کم	کم
۱۳	ایمپالس ویژه (sec)	۲۶۹	۲۶۹	۲۰۶	۲۸۱	-	-	-
۱۴	دمای آدیاباتیک شعله (K)	۳۲۹۰	۳۳۰۰	۲۰۶۰	۳۶۴۰	-	-	-

۱- Ammonium Di Nitramide

۲- Hexa Nitro Hexa aza iso Wurizitane - HNIW

۳- Tri Nitro 2,4,6 Phenyl Nitramine

۴- Nitro guanidine

۵- Eethylene Di Nitramine

www.SID.ir

Archive of SID

۲. روش تحقیق

نظر به اینکه فرآیند ساخت پیشرانه های نیترآمینی همانند پیشرانه های دوپایه است. لذا تجهیزات ذیل جهت تهیه فرمولاسیون پیشرانه های تحقیقاتی بکار گرفته شد.

۱- کنت تحقیقاتی دوکیلوگرمی؛

۲- والز خشن؛

۳- والز نرم؛

۴- خشک کن؛

۵-گرمکن؛

۶- پرس؛

۷- دستگاه تراش جهت عملیات اندازه کردن گرین.

به منظورساخت پیشرانه های نیترآمینی اکسترودی حلالی، ابتدا هفت جزء اصلی پودری تشکیل دهنده فرمولاسیون پیشرانه (سنترالیت، آکاردیت، رزورسیلات مس، سالیسیلات سرب، کاندلیلا واکس، گرافیت، استات سلولز) توزین گردید و سپس RDX به این مخلوط اضافه نموده و به همراه این هفت جزء با همدیگر مخلوط شدند. بعد از اختلاط هفت جزء، چهار جزء دیگر فرمولاسیون (NC، PVK، دی اتیل فتالات، استن) توزین و دردستگاه کنت با همدیگر مخلوط شده و عملیات همگن سازی انجام پذیرفت. بعد از دو ساعت، عملیات خمیری شدن به پایان رسید و فرمولاسیون سوخت بصورت خمیر در آورده شد و تخلیه گردید. توده سوخت بدست آمده، به گرمکن والز برده شد و مدت سه الی هشت ساعت در دمای۵۵ °C قرار داده شد، تا ضمن کاهش رطوبت وخروج مواد فرار، توده سوخت نیز از نظر حرارتی به دمای غلطک والز نزدیک گردد، تا شوک حرارتی به توده سوخت وارد نگردد. همچنین خارج شدن مواد فرار و کاهش رطوبت سوخت نیز در دو مرحله درعملیات غلطک کاری (والز) انجام و در نهایت سوختهای توده ای شکل به صورت ورقه های نازک درآورده شده و نهایتاً این ورقه ها رول گردیدند. جهت کاهش رطوبت، رولها به مدت ۴۸ ساعت در خشک کن قرار داده شدند تا رطوبت سوختهای رول شده به کمتر از یک درصد برسد. این مقدار رطوبت برای عملیات اکسترود، مناسب می باشد[۱].

سوختهای رول شده در عملیات اکسترود (پرس) بصورت گرین استوانه ای توپر بدست آمد. جهت اندازه کردن گرین استوانه ای ازدستگاه تراش استفاده گردید و مطابق با ابعاد و اندازه مورد نظر (۱۵۷×۲۳×۷ میلیمتر) اندازه شد. سپس گرین بدست آمده در موتور مدل، مونتاژ وتست بالستیک بر روی آنها انجام شد. همچنین یک نمونه از گرین بدست آمده، جهت انجام آزمایشات شیمی- فیزیکی به آزمایشگاه ارسال گردید. اندازه گیری تراست، ایمپالس ویژه و فشار محفظه احتراق، توسط سیستمی متشکل ازسکوی تست بالستیک، مبدل نیرو و مبدل فشار، ازطریق ثبت رایانه ای انجام پذیرفت. از آنجایی که مقدار انرژی سوخت را می توان به طور تقریبی از انرژی اجزاء تشکیل دهنده ی آن محاسبه کرد[۱۷]، لذا برای فرمولاسیونهای مورد نظر، مقدار انرژی پیشرانه از اجزای تشکیل دهنده ی آن با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

(۱) محاسباتی Q = Σ[(درصدهرجزء) × (انرژی هر یک از اجزاء)]

انرژی محاسباتی پیشرانه مرجع محاسباتی Q = + ۳۶۵۶ J/gr

ازطرف دیگر، می توان از طریق گرمای احتراق پیشرانه، I_{sp} پیشرانه را به طور تقریبی ازطریق رابطه (۲) (رابطه گریفین) محاسبه نمود[۴]. ضمناً با داشتن انرژی تئوری ترکیبات و با استفاده از رابطه (۲)، می توان ایمپالس ویژه سوخت را بدست آورد[۱۷]. دراینجا ΔH_C برابر گرمای احتراق سوخت می باشد.

$$I_{sp} = 6.3\sqrt{\Delta H_c} \qquad (۲)$$

ضمناً با داشتن ضریب تصحیح ایمپالس ویژه، براحتی می توان با اندکی تقریب، ایمپالس ویژه موتور را قبل از تست استاتیکی موتور پیش بینی نمود. ضریب تصحیح ایمپالس ویژه از طریق رابطه (۳) بدست می آید.

مقدار انرژی محاسباتی پیش بینی شده برای پیشرانه دوپایه اصلاح شده حاوی درصد های مختلف RDX در جدول (۲) آورده شده اند:

(۳) ایمپالس ویژه تئوری سوخت از رابطه گریفین/ ایمپالس ویژه اندازه گیری شده ازتست استاتیک= ضریب تصحیح ایمپالس ویژه

جدول ۲- مقدار انرژی محاسبه شده برای فرمولاسیون های پیشرانه های CMDB ساخته شده با درصد های مختلف RDX

درصد نیترآمین درفرمولاسیون	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
انرژی پیش بینی شده (J/gr)	۳۷۳۶/۹	۳۸۱۸/۴	۳۸۹۹/۱	۳۹۸۰/۲	۴۰۶۱/۳	۴۱۴۲/۴

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مشخصات محاسبه شده و اندازه گیری شده ی پیشرانه ی مرجع

نوع پیشرانه	گرمای احتراق اندازه گیری شده (J /gr)	ایمپالس ویژه ی اندازه گیری شده (sec)	دانسیته (gr/cm^3)	سختی اندازه گیری شده (Shore D)	ایمپالس کل (I_t) (N.Ses)	ضریب تصحیح ایمپالس ویژه (α)
پیشرانه ی مرجع شماره ۱	۳۶۵۷/۵	۱۹۵/۳	۱/۵۶۴	۴۰ ± ۵	۵۳۸	۱/۰۴۸۲
پیشرانه ی مرجع شماره ۲	۳۶۷۶/۳	۱۹۶/۲	۱/۵۵۳	۴۱ ± ۴	۵۳۹	۱/۰۴۹۹
میانگین	۳۶۶۶/۷	۱۹۵/۷	۱/۵۵۸	۴۱ ± ۵	۵۳۸/۵	۱/۰۴۹

* میانگین گرمای احتراق محاسبه شده J/gr ۳۶۵۵/۸ و میانگین ایمپالس ویژه محاسبه شده sec ۱۸۶/۳ می باشد.

جدول ۴- پارامترهای بالستیکی نمونه های تحقیقاتی مرجع درموتور مدل

پیشرانه مرجع	سرعت مشخصه *C (m/s)	تراست (N)	خواص مکانیکی (کشش) (MPa)	سرعت سوزش (mm/s)	زمان سوزش (msec)
میانگین از۲ نمونه پیشرانه	۱۳۲۷	۱۴۲۴	۴/۲۵	۱۱/۹۴	۳۷۶

برای رسیدن به نتایج مطلوب و بدست آوردن پارامترهای بالستیکی، به یک موتور مدل مناسب، نیاز است. برای این منظور، موتوری با سه گرین استوانه ای درون سوز و برون سوز تک نازله طراحی گردید، تا بتواندکلیه نیازمندی های پروژه را برطرف نماید. در این طراحی، سعی گردید که کلیه مسائل طراحی رعایت شود تا بتوان پارامترهای بالستیکی مناسبی را درمحدوده فشاری مناسب استخراج نمود. در اینجا به دلیل طولانی بودن روابط محاسبات بالستیکی درطراحی موتور، ازآوردن این روابط خودداری گردیده است. درموتور طراحی شده، وزن گرین حدود۲۸۰ گرم، فشار محفظه احتراق ۱۰۰ بار، طول موتور ۲۰۰ میلیمتر، قطر موتور۶۰ میلیمتر و قطر گلویی نازل ۱۱/۲۵ میلیمتر بود.

۳. نتایج و بحث

کلیه تستهای انجام گرفته در این تحقیق، دردمای ۲۰+ درجه سانتیگراد انجام گرفته است تا نتایج یکسانی ازتستها حاصل گردد. جدول (۳) مشخصات شیمی- فیزیکی و استاتیکی دو نمونه سوخت مرجع را نشان می دهد که درکنت تحقیقاتی تولید شده است. از این دو نمونه میانگین گیری گردید و پارامتر های بدست آمده به عنوان داده های مرجع، جهت مقایسه با نمونه های پیشرانه نیترآمینی، مورد استفاده قرار گرفتند. جدول (۴)، پارامترهای بالستیکی دیگری از نمونه مرجع که حاصل تستهای انجام شده بر روی دو نمونه پیشرانه است را نشان می دهد. این جدول، مبنای مقایسه ای برای پیشرانه مرجع با پیشرانه های نیترآمینی ساخته شده می باشد.

نتایج پارامترهای بالستیکی پیشرانه های CMDB که با درصد های مختلف RDX فرموله شده درجدول (۵) آورده شده است. با افزایش مقدار RDX، انرژی، ایمپالس ویژه، سرعت مشخصه، ایمپالس نهایی و زمان سوزش پیشرانه های نیترآمینی نسبت به پیشرانه های دوپایه افزایش می یابدکه این هماهنگ با نظر سایرمحققین می باشد [۸]، [۹]، [۱۱] و [۱۴]. ضمن اینکه با افزایش مقدار RDX، سرعت سوزش و خواص مکانیکی پیشرانه کاهش می یابد [۹]، [۱۱] و [۱۴]. با توجه به جدول (۵)، با افزایش۲۰ درصد نیترآمین (RDX) به پیشرانه دوپایه، ایمپالس ویژه نسبت به پیشرانه دوپایه مرجع حدود ۱۵ ثانیه افزایش نشان می دهد که این امر ضمن حفظ بی دود بودن پیشرانه، نشان از عملکرد بالاتر دارد. شکل (۱) نمودار تراست- زمان و فشار- زمان نمونه مرجع و شکلهای ۲تا ۵، نمودارهای تراست- زمان و فشار- زمان پیشرانه های CMDB نیترآمینی حاوی درصد های مختلف RDX را در موتور مدل نشان می دهد. دراین نمودارها منحنی بالایی تراست- زمان و منحنی پایین فشار- زمان را نشان می دهند.

شکل (۱) که مربوط به نمونه مرجع است، نمودار یکنواختی را برای احتراق آن پیشرانه نشان می دهد که نه در ابتدای آتشزنه نویز قابل توجهی مشاهده می شود و نه در انتهای زمان خاموش شدن موتور دنباله نامناسبی برای نمودار فشار و تراست پدید می آید که بیانگر انتخاب آتشزنه مناسبی برای اشتعال سوخت و نیز یکنواختی سوخت برای احتراق می باشد. وقتی که از ۵ درصد نیترآمین استفاده می شود (شکل ۲) تقریباً همین رفتار خوب فشار و تراست در موتور مشاهده می گردد، اما با افزودن مقادیر بیشتری از نیترآمین به پیشرانه، منحنی تراست و فشار تا حدی ازحالت یکنواختی خارج می شود که ناشی از کاهش سرعت سوزش و در نتیجه افزایش زمان سوزش و نیز کاهش جزیی فشار محفظه احتراق می باشد (شکلهای ۳ و ۵). همانگونه که ذکر گردید با افزایش درصد نیترآمین، خواص مکانیکی پیشرانه کاهش می یابد، لذا وجود نویز درنمودارهای فشار و تراست درشکل (۵)، ممکن است ناشی از ترک درپیشرانه حاوی ۲۰ درصد نیترآمین باشد.

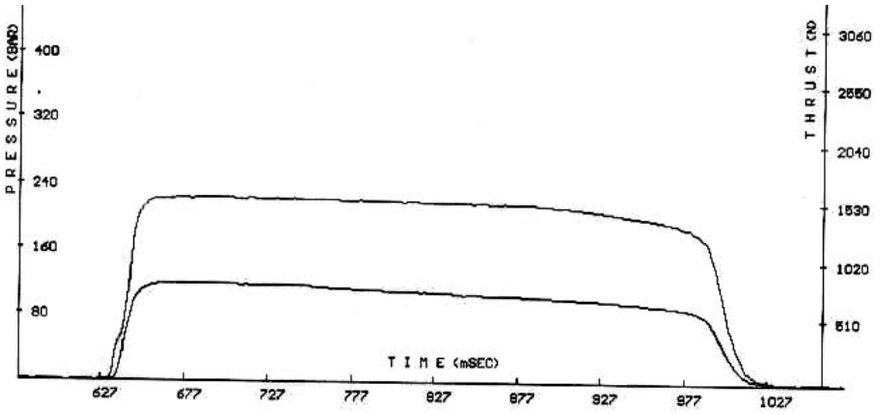
www.SID.ir

Archive of SID

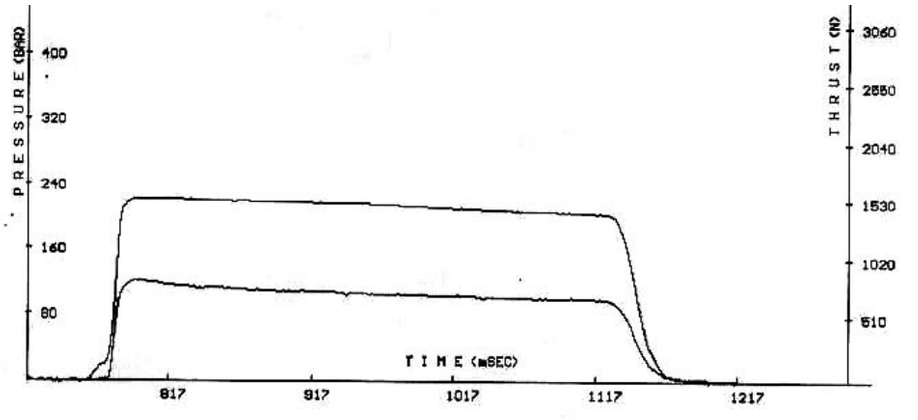
جدول ۵- مقایسه پارامترهای بالستیکی بدست آمده از تستهای بالستیکی پیشرانه های CMDB نیترآمینی و پیشرانه مرجع درموتور مدل

نوع پیشرانه	انرژی اندازه گیری شده (J /gr)	ایمپالس ویژه اندازه گیری شده (I_{sp}) (sec)	سرعت مشخصه C* (m/s)	سرعت سوزش اندازه گیری شده (mm/s)	(کشش) (Mpa)	(سختی) (Shore D)	زمان سوزش (T_A) (msec)	ایمپالس کل (I_t) (N.Sec)
پیشرانه دوپایه مرجع تحقیقاتی	۳۶۶۵/۸	۱۹۵/۷	۱۳۲۷	۱۱/۹۴	۴/۲۵	۴۱±۵	۳۷۶	۵۳۸/۵
پیشرانه CMDB RDX ٪۵	۳۷۵۳/۶	۲۰۱	۱۳۵۱	۱۰/۷	۳/۷	۴۰±۵	۴۱۲	۵۶۴
پیشرانه CMDB RDX ٪۱۰	۳۸۲۰/۵	۲۰۳/۸۳	۱۳۷۷	۱۰	۳/۲	۴۰±۵	۴۴۳	۵۶۲
پیشرانه CMDB RDX ٪۱۵	۳۹۲۰/۸	۲۰۶/۴	۱۳۶۹	۹/۹۵	۱/۲۸	۳۸±۵	۴۴۵	۵۷۵
پیشرانه CMDB RDX ٪۲۰	۴۰۰۰/۲	۲۱۰/۳	۱۳۹۰	۹/۱۷	-	۳۵±۵	۴۸۰	۶۰۵

توجه: سرعت سوزش به صورت واقعی در شرایط کارکرد موتور در فشار ۵±۹۵ بار اندازه گیری شده است .



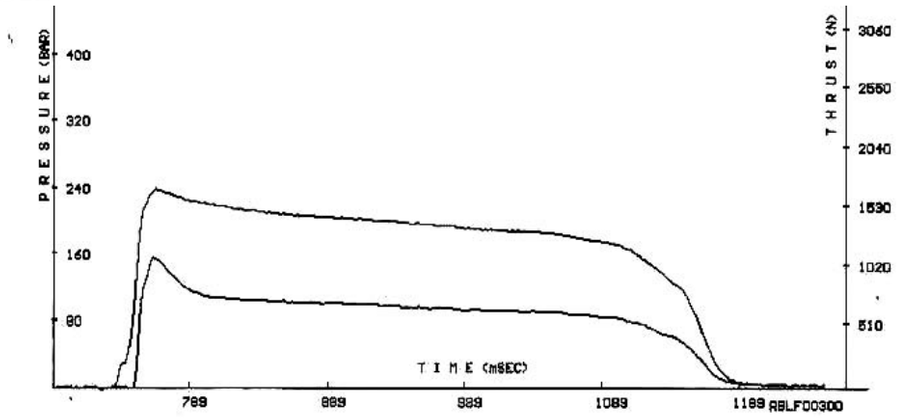
شکل ۱- نمودارتراست- زمان و فشار- زمان پیشرانه نمونه مرجع در موتور مدل



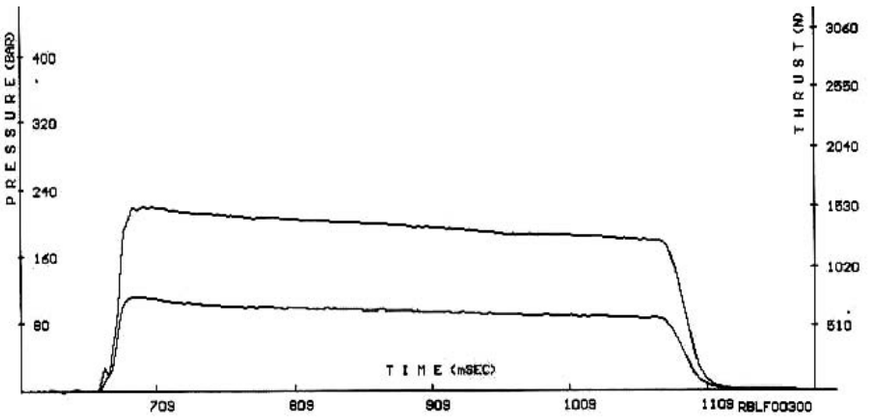
شکل ۲- نمودارتراست- زمان و فشار- زمان پیشرانهCMDB حاوی ٪۵ RDX.

www.SID.ir

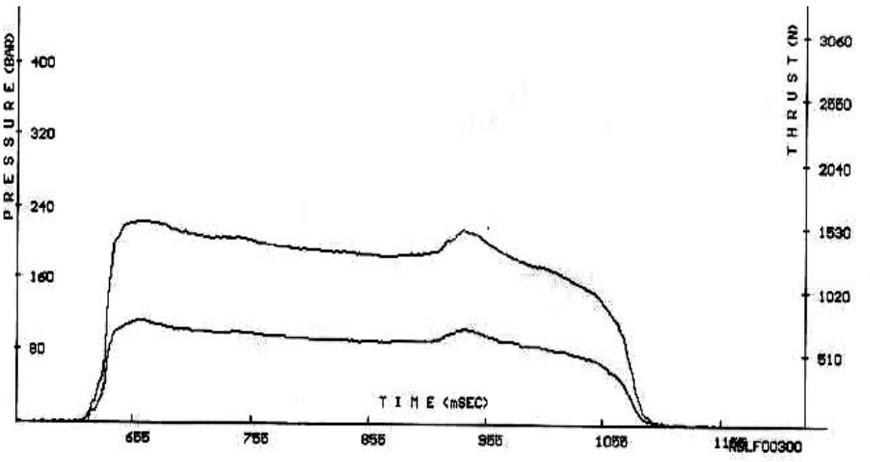
Archive of SID



شکل۳- نمودار نمودارتراست- زمان و فشار- زمان پیشرانهCMDB حاوی ۱۰٪ RDX



شکل ۴- نمودارتراست- زمان و فشار- زمان پیشرانه CMDB حاوی ۱۵٪ RDX



شکل ۵- نمودارتراست- زمان و فشار- زمان پیشرانه CMDB حاوی ۲۰٪ RDX

www.SID.ir

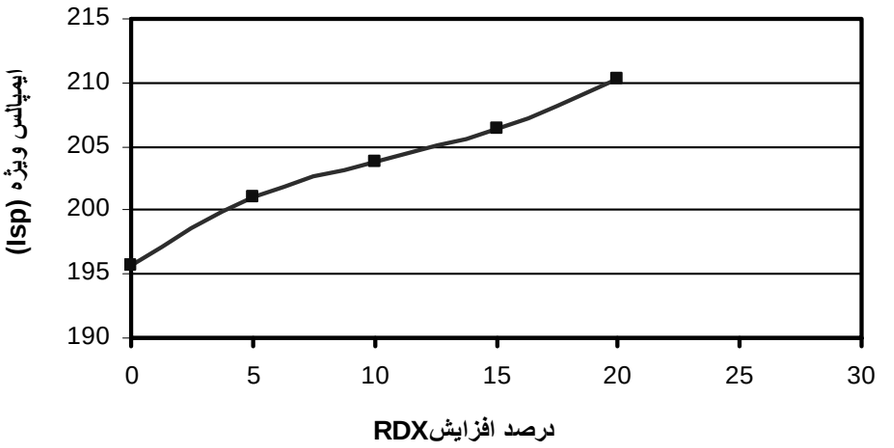
Archive of SID

۳-۱- تأثیر افزایش RDX برایمپالس ویژه پیشرانه

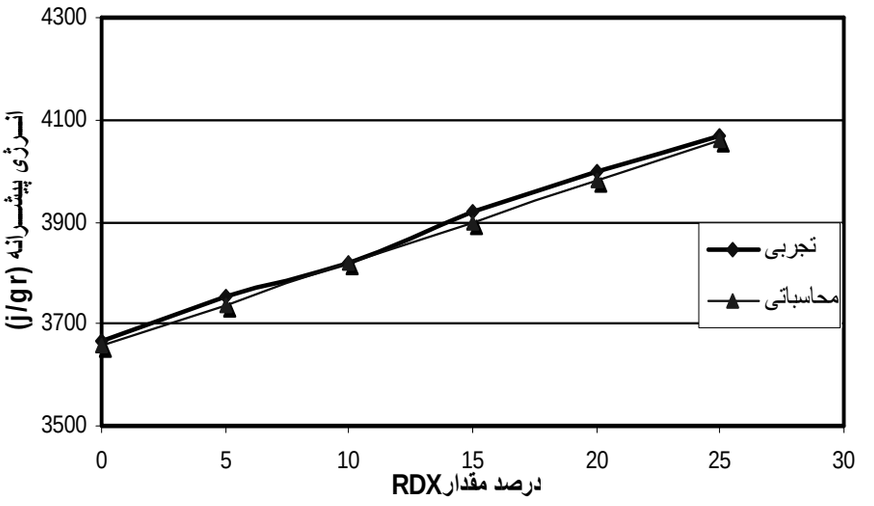
افزایش مقدارنیترآمین به پیشرانه دوپایه، سبب افزایش ایمپالس ویژه پیشرانه می گردد. درواقع ایمپالس ویژه، با مقداردرصد RDX در پیشرانه تقریباً به صورت خطی افزایش می یابد به گونه ای که به ازای هر ۵ درصد RDX به فرمولاسیون پیشرانه، ایمپالس ویژه حدود سه واحد (ثانیه) افزایش نشان می دهد (شکل۶).

۳-۲- تأثیر افزایش RDX بر انرژی پیشرانه

با افزایش درصد نیترآمین در فرمولاسیون پیشرانه، گرمای احتراق پیشرانه افزایش می یابد. این افزایش انرژی تقریباً به صورت خطی می باشد به طوریکه به ازای هر ۵ درصد RDX گرمای حاصل از احتراق پیشرانه ۸۱/۱ J/gr افزایش می یابد. شکل(۷) اثر افزایش RDX را در فرمولاسیون پیشرانه بر افزایش انرژی پیشرانه را در دو حالت محاسباتی و اندازه گیری شده توسط کالریمتری نشان می دهد.



شکل ۶- تأثیر افزایش RDX در فرمولاسیون پیشرانه برایمپالس ویژه پیشرانه تولیدی



شکل ۷- مقایسه گرمای احتراق محاسباتی با مقدار اندازه گیری شده (تجربی) براساس افزایش درصد RDX درفرمولاسیون پیشرانه

www.SID.ir

Archive of SID

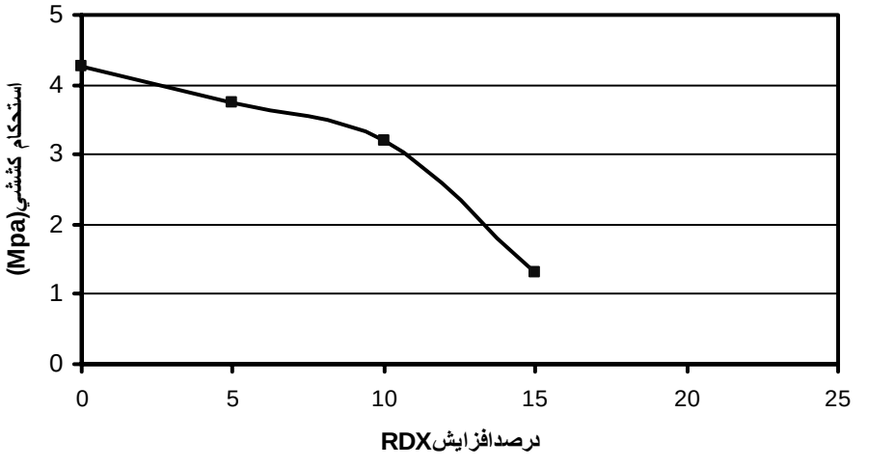
۳-۳- تأثیر افزایش RDX برخواص مکانیکی پیشرانه

افزودن نیترآمین باعث کاهش خواص مکانیکی پیشرانه می گردد. علت اصلی این امر جایگزین کردن RDX با NC (عامل پلیمری مهم درافزایش خواص مکانیکی پیشرانه) می باشد که هر قدرNC کاهش می یابد خواص مکانیکی پیشرانه نیزکاهش می یابد گرچه جایگزینی عامل پر انرژی نیترآمین می تواند انرژی و دانسیته پیشرانه را بهتر نماید. شکل (۸) اثر افزایش مقدار نیترآمین در فرمولاسیون پیشرانه را برکاهش خواص مکانیکی آن نشان می دهد.

۴. نتیجه گیری

باتوجه به نتایجی که از آزمایشات شیمی- فیزیکی وتستهای استاتیکی انجام شده بدست آمده است (جدول ۵)، می توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار RDX انرژی پیشرانه های CMDB برپایه RDX، افزایش می یابد. هنگامیکه نیترآمین (RDX) جایگزین NC گردد، انرژی پیشرانه بهبود پیدا می کند، سرعت سوزش وخواص مکانیکی نیز تا حدی کاهش می یابد. باید توجه داشت که برای تهیه پیشرانه های CMDB، اگر نیاز به انرژی بالا و سرعت سوزش پایین باشد، پیشنهاد می گردد که از ترکیبات نیترآمینی استفاده شود. افزودن مواد انرژی زا مانند RDX به پیشرانه های دوپایه (DB) بطور محسوسی انرژی خروجی پیشرانه ها را بواسطه بالا بردن گرمای تشکیل ΔH_f و پایین آوردن جرم مولکولی (M_g) محصولات احتراق افزایش می دهد، ضمن اینکه عملکرد بهینه ی پیشرانه ها، نسبت به پیشرانه های دوپایه بدلیل مثبت بودن گرمای تشکیل RDX (+۶۲/۳ kJ/mole) می باشد، که این ممکن است سبب افزایش درجه حرارت شعله گردد. ماهیت نسبتاً یکنواخت نمودار فشار- زمان و تراست- زمان (شکلهای ۱ تا ۵)، نشان می دهد که در پیشرانه های CMDB برپایه RDX، عموماً ناپایداری محسوسی در احتراق، وجود ندارد. داده های عملکرد بالستیکی که از طریق تستهای استاتیکی بدست آمده اند، از طریق نمودارهای تراست- زمان و فشار- زمان، در شکلهای (۲) تا (۵) و جدول (۵) مشخص گردید.

با افزایش درصد RDX در فرمولاسیون پیشرانه از ۵ تا ۲۰ درصد (درعوض کاهش درصد NC)، افزایش ایمپالس ویژه (I_{sp}) وسرعت مشخصه (C^*) حادث می گردد. داده های بدست آمده از آزمون سختی های انجام گرفته از فرمولاسیون های مختلف پیشرانه های CMDB نیترآمینی (جدول ۵)، درمقایسه با پیشرانه های دوپایه، نشان می دهد که با افزایش مقدار نیترآمین (RDX) خواص مکانیکی پیشرانه و ویسکوزیته ی آن کاهش می یابد که این به علت کاهش مقدار پلیمر NC در ترکیب پیشرانه است که نقش اساسی درتقویت خواص مکانیکی پیشرانه دارد بنظر می رسدکه افزودن پنج درصد نیترآمین به پیشرانه، تأثیر چندانی بر روی خواص مکانیکی نداشته باشد، اما با افزودن درصد بیشتری از RDX به پیشرانه های دوپایه، خواص مکانیکی پیشرانه کاهش می یابد و پیشرانه نیز انعطاف پذیرتر می گردد، که این خود، یک عیب محسوب می گردد. همچنین افزایش نیترآمین، سبب کاهش سرعت سوزش پیشرانه و نیز کاهش خواص مکانیکی آن گردید. از آنجایی که کاهش درصد NC در فرمولاسیون، پیشرانه و افزودن RDX درعوض آن، موجب کاهش خواص مکانیکی پیشرانه می شود، مناسب است که درصد افزایش RDX در فرمولاسیون بیشتر از درصد NC نشود تا خواص مکانیکی پیشرانه تاحد امکان به صورت مطلوب، حفظ گردد. لذا برای بهبود فرمولاسیون پیشرانه ی مرجع و با توجه به ترکیب درصد اجزاء آن، مناسب است که درصد RDX در آن از ۱۵ درصد تجاوز ننماید.



شکل ۸- تأثیر افزایش مقدار RDX درفرمولاسیون پیشرانه برخواص مکانیکی پیشرانه تولیدی

www.SID.ir

Archive of SID

۵. مراجع

[1]. Davenas Alain, "Solid Rocket Propulsion Technology",chapter 9 p.p 369 ,(2000).

[2]. Asthana.S.N, Divekar,Singh,H., "Studies thermal stability autoignition and stability depletion for shelf life of CMDB", Journal of hazardous material ,Vol. 21, P.P35-46 (1989).

[3]. Yung , Brill ,T.B.," Solid propellant chemistry combustion & motor interior Balestic" ,Vol.185,(2000).

[۴]. صابری مقدم، علی؛ ده نمکی، علی اصغر؛ افشاری، عباس؛ شهسواری، حسین؛ پیشرانه های جدید، جلد هشتم، "روند توسعه پیشرانه هاوارائه مناسب ترین پروپزالها"، دانشگاه صنعتی مالک اشتر،۱۳۸۳.

[۵]. صابری مقدم، علی؛ ده نمکی، علی اصغر؛ افشاری، عباس؛ شهسواری، حسین؛ پیشرانه های جدید جلد دوم،"پیشرانه های جامد دوپایه موشکی وروند توسعه آنها"، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۳.

[6]. YU-li، xie، "Screw Extruding Process of composite Modified Double Base Propellant",(1991).

[7]. Bhalerao M.M, Gautam.G.K، "Nitramine Double Base Propellants"، Defence Science Journal, vol.46, No.4, p.p.207-214,(1996).

[8]. Singh.G. H, & krkrao, " Sensitivity and Ballistic Properties of RDX and PETN Based Double Propellant ",Indian journal Technology, vol.25 , p.p.75-78,(1987).

[9]. Gautam. G.K، Pundlik S.M، Joshi A.D. " Study of Energetic Nitramine Extruded Double Base" ،Defence Science Journal، vol.48، No2، p.p. 235-243،(1988).

[10]. Arthur Lo Presti Ato، " Composite Double Base Propellant With HMX oxidizer", U.S. patent 3,878,003، (1975).

[11]. Ning W. j , ping.d .A , And Hong .Z . X ," A kind of screw extrusion High Energy Modified Double base propellant",(2006).

[12]. Zhulin H, F.zeng-guo, Enpu. W, And Panming. H, " the energy and pressure exponent of composite modified double base propellant", Journal of propellant, explosive, pyrotechnics,17, 59-62 (1992).

[13]. Meyer R, "Explosive",VCH(1981).

[14]. Yano Y, and Kubota N,"Combustion of HMX – CMDB propellants", Journal of propellant, Explosive ,Pyrotechnics, pp,192-196،(1985).

[15]. Kubota .N ,"Propellant and Explosive",7th , Wiley-VCH Gmbh . Weinheim, Germany,(2002).

[۱۶]. بیات، یداله؛ تیموری مفرد، رضا؛ ابریشمی، فاطمه؛ مقاله شماره ۵، "سنتزو مطالعه خواص ترکیب شدیدالانفجارCl-20" ، مجموعه مقالات چهارمین همایش سراسری مواد منفجره ، پیرو تکنیک و پیشرانه ، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اسفند ،۱۳۸۴.

[۱۷]. صحافیان، علی؛ رساله کارشناسی ارشد،"تحقیق و نمونه سازی پیشران دو پایه پر انرژی"، دانشگاه تهران، بهمن،۱۳۸۱.

www.SID.ir