مجله علمی- پژوهشی مواد پرانرژی
سال هفتم- شماره 2- شماره پیاپی 15- تابستان 91

اثر بازدارنده سلولز استات بوتیرات بر عملکرد بالستیکی باروت یک پایه

یونس موسائی اسکوئی[1*]، منصور رنجبر[2]،علی موسوی آذر[3]، محمد حسین کشاورز[4]، حسن گودرزی[5]
اصفهان- دانشگاه صنعتی مالک اشتر
(تاریخ وصول:90/11/29، تاریخ پذیرش: 91/2/16)

چکیده

باروت‌های یک پایه مورد استفاده در سلاح‌ها اساساً دارای سرعت سوزش بالایی هستند. اگر آن‌ها در مناطق با آب و هوای گرم نگه داری یا استفاده شوند، ممکن است سرعت سوزش باروت تحت تأثیر شرایط محیطی به خصوص دمای محیط افزایش یابد. در این نوع پیشرانه‌ها استفاده از بازدارنده‌ها باعث کاهش سرعت سوزش و نهایتاً کاهش فشار و سرعت دهانه در دماهای بالا شده که منجر به بهبود عملکرد بالستیکی پیشرانه خواهد شد. بازدارنده‌های مختلفی از جمله کامفور، دی بوتیل فتالات، ترکیبات سلولزی یا استرهای غیر اشباع آلی استفاده می‌شوند. بازدارنده‌های ترجیح داده شده ترموپلاستیک های سلولزی هستند که دارای واحدهای تکراری بی هیدروگلوکز می‌باشند. موارد ترجیحی شامل سلولز استات، سلولز استات پروپیونات و سلولز استات بوتیرات می‌باشند. در این تحقیق درصدهای وزنی 1/5، 3، 5، 7، 10 و 12 از سلولز استات بوتیرات در سطح باروت یک پایه قرار داده شده و سپس بر روی آن‌ها تست‌های بالستیکی (فشار و سرعت دهانه) انجام شده است.

واژه‌های کلیدی : باروت یک پایه، بازدارنده سرعت سوزش، سلولز استات بوتیرات.

1- مقدمه

پیشرانه های بر پایه نیتروسلولز (NC) دارای انواع مختلفی هستند. وقتی تنها بر پایه نیتروسلولز (NC) باشند یک پایه نامیده می‌شوند. چنانچه مخلوطی از نیتروسلولز (NC) و نیتروگلیسرین (NG) استفاده شده باشد دو پایه و وقتی پایه مخلوطی از نیتروسلولز (NC)، نیتروگلیسرین (NG) و نیترگوانیدین(NGO) باشد، سه پایه است. پیشرانه‌های پایه سلولزی در هنگام سوختن به غیر از گاز تقریباً باقی‌مانده جامدی ندارند و به سرعت و شدت می‌سوزند و در صورت عدم کنترل فشار ناشی از سوختن یا فشار حاصل از تغییرات دمای محیط امکان انفجار وجود دارد. به همین منظور در این نوع از پیشرانه ها به یک بازدارنده سرعت سوزش در دماهای بالا نیاز است تا باعث کاهش فشار و سرعت دهانه در دماهای بالا شده و بدین طریق عملکرد بالستیکی پیشرانه اصلاح شود. بازدارنده‌ها معمولاً به دو نوع تقسیم می‌شوند که عبارتند از نرم‌کننده‌ها و ممانعت کننده‌ها. نوع نرم‌کننده به داخل گرین پیشرانه نفوذ می‌کند، در حالی که نوع ممانعت کننده معمولاً نمی‌تواند به داخل گرین پیشرانه نفوذ کند و

✱ E-mail: mosaei@mut-es.ac.ir

1- استادیار
2، 3 و 5- کارشناس ارشد
4- استاد

Archive of SID
www.SID.ir

سطح را می‌پوشاند. بازدارنده‌های سرعت سوزش مورد استفاده باید یک سری خصوصیات داشته باشند از جمله اینکه باید در سطح باروت باقی بمانند و به داخل باروت نفوذ نکنند. همچنین عدم نفوذ بازدارنده به داخل گرین تحت شرایط دمائی بالا در مدت انبارداری برای زمان‌های طولانی چندین ساله هم حفظ شود. بازدارنده‌هایی که دارای این خاصیت می‌باشند ترموپلاستیک‌های سلولزی هستند که دارای واحدهای تکراری از بی‌هیدروگلوکز می‌باشند. از جمله این ترکیبات می‌توان به سلولز استات، سلولز استات بوتیرات و سلولز استات پروپیونات اشاره کرد. این مواد خصوصیات گفته شده در بالا را دارند و برای اصلاح عملکرد بالستیکی باروت یک پایه در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند[4-1].

پیشرانه های تک پایه و دو پایه معمولاً به واسطه یک محلول آبی با درصد وزنی مشخص از بازدارنده حل شده در حلال آلی پوشیده می‌شوند، وقتی آب حذف می‌شود لایه‌ای از پوشش بازدارنده روی باروت باقی می‌ماند[5]. غلظت بازدارنده در سطح خارجی باروت با گرین پیشرانه زیاد است و تقریباً تا صفر در برخی نقاط داخلی گرین پیشرانه کاهش می‌یابد. این شیب غلظت، سرعت سوزش را کاهش می‌دهد. اگر شیب غلظت تغییر کند، به طور نمونه گرما باعث می‌شود بازدارنده به داخل مهاجرت کند و یک تأثیر منفی بالستیکی اتفاق می‌افتد. سرعت سوزش در سطح گرین های پیشرانه افزایش می‌یابد که افزایش فشار بالستیکی را هدایت می‌کند. پایداری بالستیکی، توانائی بازدارنده‌ها برای ماندن در گرادیان غلظت اصلی بدون مهاجرت می‌باشد. یک مشکل در استفاده‌های معمول از بازدارنده‌ها، ناپایداری بالستیکی در زمانی که دمای بالا اعمال شود (65 درجه سانتی‌گراد و بالاتر)، می‌باشد. بازدارنده‌هایی مثل اتیلن‌گلیکول[7و6] و دی بوتیل فتالات به داخل گرین مهاجرت کرده و باعث تغییر کارایی بالستیکی پیشرانه می‌شوند[8]. بنابراین به یک بازدارنده برای پیشرانه های بر پایه نیتروسلولز (NC) نیاز است که پایداری بالستیکی بزرگ‌تری از نمونه‌های اولیه داشته باشد[12-9]. بازدارنده‌ها به طور تدریجی در بخش خارجی ذرات پخش می‌شوند، به طوری که غلظت بازدارنده در اطراف محیط زیاد می‌شود و به طرف مرکز ذرات کاهش می‌یابد. ترجیحاً درصد وزنی غلظت بازدارنده با پیشرانه مرتبط است که از حدود 10% تا 50% در طرف بیرونی باروت (با ترجیح بیشتر حدود 10% تا 30%) قرار دارد. درصد وزن بازدارنده به سمت مرکز کم می‌شود و در یک نقطه بین 20% و 40% در طول شعاع (جایی که شعاع بین 20% تا 40% است) به صفر می‌رسد، نقطه اصلی که غلظت بازدارنده صفر است ترجیحاً از حدود 20% تا 30% به سمت داخل در امتداد شعاع می‌باشد[13]. اگر اصلاح کننده‌های بالستیکی بیشتر از محدوده مشخصی به کار برده شوند، بهبود خیلی کمی در خواص بالستیکی ایجاد می‌کنند. در کار حاضر در ابتدا درصدهای وزنی 1/5، 3، 5، 7، 10 و 12 از سلولزاستات بوتیرات به عنوان بازدارنده در سطح باروت یک پایه قرار داده می‌شود. سپس تأثیر آن‌ها با انجام تست‌های بالستیکی (فشار و سرعت دهانه) مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

2- بخش تجربی

رسوب دادن بازدارنده بر سطح باروت یک پایه در سه مرحله انجام می‌شود، این مراحل برای تهیه نمونه باروت شامل یک و نیم درصد وزنی بوتیرات استات سلولز، در زیر توضیح داده شده است.

مرحله اول

اجزاء تولید شده به وسیله آماده شدن اولیه در سوسپانسیون آبی شامل نیتروسلولز (NC) ساخته شدند. نسبت وزنی آب به پیشرانه از حدود2 : 1 تا 20 : 1 و ترجیحاً از 5 : 1 تا 15 : 1 انتخاب شد. مقدار 0/5 کیلوگرم باروت یک پایه به داخل دستگاه مخلوط کن ریخته و مقدار 3 کیلوگرم آب مقطر به آن اضافه گردید. سپس مقدار 0/0125 درصد (0/06 گرم) از یک ماده کلوئیدی برای جلوگیری از کلوخه شدن، اضافه شد. محتویات ظرف در دمای حدود 60 درجه سانتی‌گراد گرم شد و همزمان تحت تکان‌های تقریباً ثابت به مدت 150 دقیقه قرار گرفت.

مرحله دوم

برای ایجاد پوشش 1/5 درصدی از سلولز استات بوتیرات در سطح باروت به 7/61 گرم سلولز استات بوتیرات (CAB) نیاز است. درصد وزنی CAB در حلال برابر 10 می‌باشد بنابراین این مقدار از CAB باید در 68/49 گرم از حلال حل شود.گرما باعث افزایش سرعت انحلال

Archive of SID
www.SID.ir

می‌شود، بنابراین این کار تحت گرما صورت پذیرفت، لذا 7/61 گرم از سلولز استات بوتیرات در 68/49 گرم حلال اتیل استات، حل گردید.

مرحله سوم

محلول مرحله دوم به طور آهسته طی زمان یک ساعت، به آرامی به دستگاه مخلوط کن اضافه شد. در این مدت دمای دستگاه تا 65°C افزایش یافت. در این دما، هم زدن حدود 120 دقیقه ادامه یافت و نهایتاً توسط روتاری حلال از سطح باروت حذف شد. مقدار رطوبت نهایی باروت باید کمتر از یک و نیم درصد وزنی باشد تا بتوان تست‌های بالستیکی را بر روی آن‌ها انجام داد. بدین منظور نمونه پوشش داده شده قبل از انجام تست‌های بالستیکی باید به خوبی خشک شود. بنابراین نمونه در داخل کیسه متقالی گذاشته شد و در دمای 70°C به مدت 3 ساعت در داخل دستگاه خشک کن قرار داده شد.

سایر نمونه‌ها شامل درصدهای وزنی 3، 5، 7، 10 و 12 از CAB بدین طریق در سطح باروت رسوب داده شدند. پس از تهیه نمونه‌ها و خشک کردن آن‌ها، برای انجام تست‌های بالستیکی (فشار و سرعت دهانه) به میدان تیر برده شدند. در ابتدا برای حالت باروت بدون پوشش در شارژهای مختلف 50، 55 و 60 گرم، تست‌های بالستیکی (فشار و سرعت دهانه) در دمای مورد نظر انجام شد. سپس این تست‌ها در همان دما و شرایط برای باروت دارای درصدهای مختلف از CAB تکرار شدند.

3- نتایج و بحث

در این تحقیق درصدهای وزنی 1/5 ، 3 ، 5 ، 7 ، 10 و 12 از CAB در سطح باروت یک پایه قرار داده شد و سپس بر روی آن‌ها تست‌های بالستیکی (فشار و سرعت دهانه) انجام گردید. در ابتدا برای حالت باروت بدون پوشش در شارژهای مختلف 50، 55 و 60 گرم، تست‌های بالستیکی در دمای مورد نظر انجام شد. سپس این تست‌ها در همان دما و شرایط برای باروت دارای درصدهای مختلف ازCAB تکرار گردید.

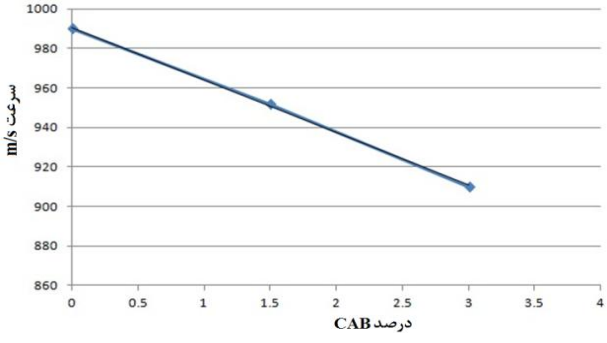
تست‌ها در دمای 71 °C انجام شدند. بدیهی است که با افزایش مقدار شارژ باروت، هم سرعت دهانه و هم فشار داخل پوکه افزایش می‌یابد و مقدار شارژ با سرعت دهانه و فشار رابطه مستقیم دارد.

در جدول (1) نتایج تست میدانی باروت یک پایه در حالت بدون پوشش و با درصدهای مختلفی از پوشش CAB در دمای71°C برای مقدار شارژ 55 گرم نشان داده شده است.

جدول 1- نتایج تست میدانی با درصدهای مختلفی از پوشش CAB در دمای 71°Cبرای مقدار شارژ 55 گرم و حالت بدون پوشش برای شارژ 50 گرم.

ردیف	نمونه	سرعت دهانه (متر بر ثانیه)	فشار (بار)
1	بدون پوشش با شارژ50گرم	950	3070
2	بدون پوشش	990	3316
3	1/5درصد CAB	952	3153
4	3درصد CAB	910	3100

اطلاعات موجود در جدول (1) نشان می‌دهد که با افزایش 5 گرم در مقدار شارژ افزایش سرعت دهانه معادل با 40 m/s مشاهده می‌شود. همین‌طور فشار به میزان 246 bar افزایش یافته است که بیانگر ارتباط مستقیم بین مقدار شارژ با فشار و سرعت دهانه است. از این اطلاعات همچنین ملاحظه می‌شود که با افزایش سه درصدی بوتیرات استات سلولز در سطح باروت در شارژ 55 گرم سرعت دهانه از 990 m/s در حالت بدون پوشش به 910 m/s رسیده است یعنی کاهش سرعتی معادل با 80 m/s نسبت به حالت بدون پوشش داشته است. همین طور در مورد افزایش یک و نیم درصدی بوتیرات استات سلولز کاهش سرعتی معادل با 38 m/s مشاهده می‌شود.

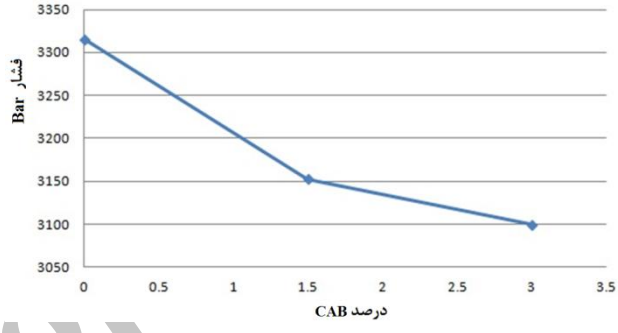


شکل 1- نمودار سرعت بر حسب درصد CAB برای شارژ 55 گرم.

Archive of SID

www.SID.ir

نمودار سرعت بر حسب درصد CAB برای شارژ 55 گرم در شکل (1) نشان داده شده است با افزایش سه درصدیCAB در سطح باروت در شارژ 55 گرم فشار داخل پوکه از 3316 bar در حالت بدون پوشش به 3100 bar رسید. یعنی کاهش فشاری معادل با 216 bar نسبت به حالت بدون پوشش دارد. در مورد افزایش یک و نیم درصدیCAB، کاهش فشاری معادل با 163 bar مشاهده شد. نمودار فشار بر حسب درصد CAB برای شارژ 55 گرم در شکل (2) نشان داده شده است.



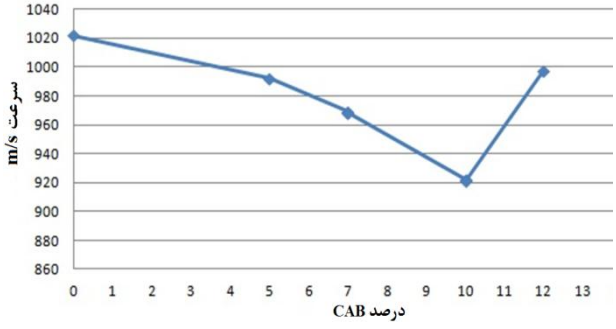
شکل 2- نمودار فشار بر حسب درصد CAB برای شارژ 55 گرم.

وقتی که مقدار شارژ به 60 گرم افزایش یافت هم سرعت و هم فشار بالا رفت. نتایج تست میدانی باروت با درصدهای مختلفی از پوشش CAB در دمای71°C و همچنین حالت بدون پوشش، برای مقدار شارژ 60 گرم در جدول (2) آورده شده است.

جدول 2 - نتایج تست میدانی باروت یک پایه با درصدهای مختلفی از پوشش CAB در دمای 71°C برای مقدار شارژ 60 گرم.

ردیف	درصد CAB	سرعت دهانه (متر بر ثانیه)	فشار (بار)
1	بدون پوشش	1022	3555
2	5	992	3323
3	7	969	3210
4	7	968	3229
5	10	922	3170
6	10	921	3190
7	12	998	3345

با توجه به جدول(2)، هنگامی که در این مقدار شارژ از پنج درصد CAB در سطح باروت استفاده شد، سرعت دهانه از 1022 m/s در حالت بدون پوشش به 992 m/s رسید یعنی کاهش سرعتی برابر با 30 m/s دارد. اگر از هفت درصد CAB در سطح باروت استفاده شود سرعت دهانه از 1022 m/s در حالت بدون پوشش به 969 m/s می‌رسد. یعنی کاهشی برابر با 53 m/s دارد. اگر از ده درصد CAB در سطح باروت استفاده شود سرعت دهانه از 1022 m/s در حالت بدون پوشش به 921 m/s می‌رسد یعنی کاهشی برابر با 101 m/s دارد. نمودار سرعت بر حسب درصد CAB برای شارژ 60 گرم در شکل (3) نشان داده شده است.



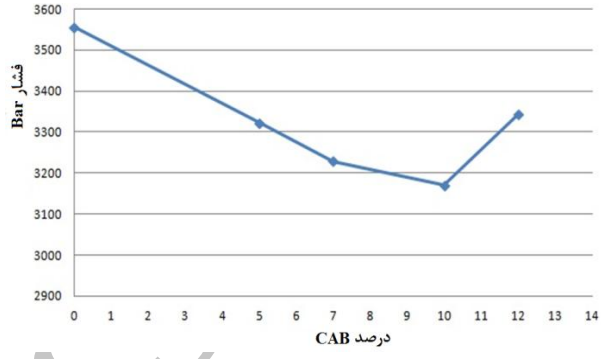
شکل 3 - نمودار سرعت بر حسب درصد CAB برای شارژ 60 گرم.

با توجه به اطلاعات موجود در جدول (2) می‌توان دریافت که وقتی در مقدار شارژ 60 گرم از پنج درصد سلولز استات بوتیرات در سطح باروت استفاده شد، فشار از 3555 bar در حالت بدون پوشش به 3323 bar رسید یعنی کاهش فشاری برابر با 232 bar نسبت به حالت بدون پوشش دارد. همین‌طور وقتی در مقدار شارژ 60 گرم از هفت درصد سلولز استات بوتیرات در سطح باروت استفاده شد، فشار از 3555 bar در حالت بدون پوشش به 3210 bar رسید یعنی کاهش فشاری برابر با 345 bar نسبت به حالت بدون پوشش دارد. وقتی در مقدار شارژ 60 گرم از ده درصد سلولز استات بوتیرات در سطح باروت استفاده شد، فشار از3555 bar در حالت بدون پوشش به 3180 bar رسید، یعنی کاهش فشاری برابر با 365 bar نسبت به حالت بدون پوشش دارد. نمودار فشار بر حسب درصد سلولز استات

www.SID.ir

بـوتیرات (CAB) بـرای شـارژ 60 گـرم در شـکل (4) نشـان داده شده است.

جدول (2) و شکل‌های (3) و (4) نشان می‌دهد که بـا افـزایش مقـدار پوشش هم سرعت دهانه و هم فشار کاهش پیـدا مـی‌کنـد و در واقـع رابطه عکس بین مقدار پوشش با سرعت دهانـه و فشـار وجـود دارد و روند نزولی در نمودارها بیانگر این مطلب می‌باشد.



شکل 4- نمودار فشار بر حسب درصد CAB برای شارژ 60 گرم.

زمانی بهبود در خواص بالسـتیکی ترکیبـات پیشـرانه، رضـایت بخـش است که پیشرانه شامل درصد وزنـی مشخصـی از اصـلاح کننـده‌هـای بالستیکی باشد.

همان طوری که قبلاً هم اشاره شد اگر اصلاح کننـده‌هـای بالسـتیکی بیشتر از محدوده‌ی مشخصی به کار برده شوند، بهبود خیلی کمـی در خواص بالستیکی ایجاد می‌کنند. درصد وزن پوشش ترجیحاً باید بـین نیم تا ده درصد وزنی پیشرانه را شامل شود. اگر مقدار پوشـش از ایـن محدوده بالاتر باشد، تأثیر خیلی کمی در کاهش سرعت دهانه و فشـار (عملکرد بالستیکی) دارد. این موضوع به خوبی در مورد حـالتی کـه از 12 درصد وزنی پوشش استفاده شده است، دیده مـی‌شـود. در حـالتی که از 12 درصد وزنی پوشش استفاده مـی‌شـود بـه دلیـل نچسـبیدن کامل پوشش در سطح باروت، تـأثیر خیلـی کمـی در کـاهش سـرعت دهانه و فشار دارد. همان طور که در جـدول (2) آورده شـده اسـت بـا افزایش 12 درصد وزنی سلولز استات بـوتیرات بـه عنـوان پوشـش در سطح باروت سرعت دهانه از 1022 m/s در حالـت بـدون پوشـش بـه 998 m/s کاهش یافت. یعنی کاهش سرعتی معادل 24 m/s دارد کـه این مقـدار کـاهش، حتـی از تـأثیر 5 درصـدی پوشـش کمتـر اسـت.

همچنین فشار از 3555 bar در حالـت بـدون پوشـش بـه 3345 bar رسید. یعنی کاهش فشاری برابر با 210 bar نسـبت بـه حالـت بـدون پوشش دارد. با وجود اینکه 12 درصد وزنی پوشش استفاده شده است تأثیراتش روی فشار تقریباً مشابه حالت 5 درصد می‌باشد.

مزیتی که این روش دارد این است کـه بازدارنـده‌هـای سـلولزی مثـل سلولز استات بوتیرات بر خلاف دی بوتیل فتالات و بازدارنده‌های پلـی کاپرولاکتونی [14] به داخل باروت نفوذ نمی‌کنند و حتی در دماهـای بالا هم در سطح باقی می‌مانند و باعث کاهش فشـار و سـرعت دهانـه می‌شوند. با استفاده از درصدهای مختلف بوتیرات استات سـلولز CAB می‌توان فشار و سرعت دهانه را کنترل کرده و به حد اسـتانداردی کـه مفید باشند رساند و آن‌ها در محدوده‌ی مناسبی که خواص بالسـتیکی مطلوب را ایجاد نمایند تثبیت کرد.

4- نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد بالستیکی (فشار و سرعت دهانه) پیشرانه هـای تفنگی جامد، (شامل پیشرانه های نیتروسلولزی تـک پایـه) در دمـای 71 °C به کمک عوامل مؤثر بر عملکرد بالستیکی این نوع پیشرانه هـا مثل اثر پوشش در سطح، کاهش داده شد و در محدوده‌ی مناسبی که خواص بالستیکی مطلوب را ایجاد نماید، تثبیت گردید. پوشش مناسب سلولز استات بوتیرات است، زیرا حتی تحت دماهای بـالا و زمـان‌هـای طولانی به داخل گرین پیشرانه نفوذ نمی‌کند و ماکزیمم غلظـت آن در سطح باروت است که باعث کـاهش فشـار و سـرعت دهانـه سـلاح در دماهای بالا می‌شود. ترجیحاً درصد وزنی پوشش بین نیم تا ده درصـد می‌باشد.

با استفاده از درصدهای مختلف پوشش سلولز استات بوتیرات در سطح باروت می‌توان از سرعت سوزش زیاد باروت در دماهای بالا کـه منجـر به افزایش سرعت دهانه و فشار بیش از حـد تحمـل سـلاح مـی‌شـود، جلوگیری کرد. بدین طریق عملکرد بالستیکی پیشرانه (فشار و سرعت دهانه) در دماهای بالا اصلاح می‌شود و می‌توان فشار و سرعت دهانه را در دماهای بالا کنتـرل کـرد تـا بـه سـلاح آسـیبی نرسـاند و بـه حـد استانداردی که مفید باشند، برسـند.آن‌هـا را مـی‌تـوان در محـدوده‌ی مناسبی که خواص بالستیکی مطلوب را ایجاد نمایند، تثبیت کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

زمانی که از یک و نیم درصد وزنی بازدارنده در سطح بـاروت اسـتفاده شد تا زمانی که این مقدار به ده درصد رسید، رونـد نزولـی در مقـادیر فشار و سرعت دهانه مشاهده شد.

حالت بهینه استفاده از بازدارنده مربوط به زمانی است که از ده درصـد وزنی بازدارنده در سطح باروت استفاده شد، زیرا در این حالت کـاهش فشاری برابر با 365 bar و کاهش سرعت دهانـه‌ای برابـر بـا 101 m/s نسبت به حالت بدون پوشش دیده شد.

مراجع

[1] Mellow, D. “Nitrocellulose Propellant Containing Diffused Linear Polyester Burning Rate Deterrent.”; US Patent 3,743,554, 1973.

[2] Urbanski, T. “Chemistry and Technology of Explosive.”; Pergamon Press: New York; Vol. 2, Chapter 9-11, 1964.

[3] مومنیان، حسین؛ "شیمی مواد منفجره"، انتشارات دانشگاه امام حسین، 1379.

[4] O’meara, W. “Nitrocellulose Propellant Containing a Cellulose Burn Rate Modifier.”; US Patent 5,524,544, 1996.

[5] Mello, D. “Manufacture of a Burn Rate Deterrent Coated Propellant.”; US Patent 3,798,085, 1976.

[6] Jelisavac, L. “Identification And Quantitative Determination of Poly Ethylene Glycol Dimethacrylate Deterrent in Single Base Gun Propellant.”; Scientific-Technical Review, 2005, Vol.LV, No.2, 73-75.

[7] Mann, D. C. “Design of a Deterrent Propellant for the 105-mm tank Gun.”; JANNAF Propulsion Meeting, 1981, Vol.1.

[8] Vogelsanger, B.; Ossola, B.; Ryf, K. “Ballistic Shelf Life Propellants for Small and Medium Caliber Ammunition Influence of Deterrent Diffusion and Nitrocellulose Degradation.”; 19th International Symposium of Ballistics, 2001.

[9] Cartwright, R. V. “Ignition Modifying Overcoat for Deterrent Coated Smokeless Propellant.”; US Patent 4,886,560, 1989.

[10] Berteleau, G.; Fonblanc, G. “Compositions Modifying Ballistic Properties and Propellants Containing Such Composition.”; US Patent 5,639,987, 1997.

[11] Vogelsanger, B.; Ossola, B.; Bronnimann, E. “The Diffusion of Deterrents into Propellant, Observed by FTIR-Microspectroscopy.”; Propell., Explos., Pyrot. 1996, 21,330-336.

[12] Vogelsanger, B.; Ossola, B.; Ryf, K. “EI-Technology the Key for High Performance Propulsion Design.”; 29th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, 1998.

[13] Muller, D. “Process and Apparatus for Producing Single or Multi Base Propellant.”; US Patent 4,525,313, 1982.

[14] Canterbery, J. B. “Poly Caprolactone Deterrent Nitrocellulose Propellant Composition and Method.”; US Patent 4,950,342, 1990.

Archive of SID

www.SID.ir