

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ایمنی مواد منفجره تجاری

ایمنی مواد منفجره تجاری

تالیف: عبدالقدیر شهبخش



پاییز ۱۳۹۹

سرشناسه: شه‌بخش، عبدالقدیر، ۱۳۴۵
عنوان و نام پدیدآور: ایمنی مواد منفجره تجاری/تالیف عبدالقدیر شه‌بخش.
مشخصات نشر: تهران: شرکت هوافضای برآ، انتشارات هوانورد، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری: ۳۹۸ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک: 978-622-972293-0
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: مواد منفجره -- پیش‌بینی‌های ایمنی
موضوع: Explosives -- Safety measures
موضوع: مواد منفجره
موضوع: Explosives
رده بندی کنگره: TP ۲۹۵
رده بندی دیویی: ۶۶۲ / ۲۰۲۸۹
شماره کتابشناسی ملی: ۷۳۷۳۶۹۷
وضعیت رکورد: فیپا



نام کتاب: ایمنی مواد منفجره تجاری
تالیف: عبدالقدیر شه‌بخش
ناشر: هوانورد (وابسته به شرکت مهندسی هوافضای برآ)
نوبت چاپ: اول
سال چاپ: ۱۳۹۹
شمارگان: ۵۰۰
قیمت: ۸۸۰۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۷۲۲۹-۳-۰

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است. نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
برای تهیه این کتاب می‌توانید به وبگاه WWW.AEROSHOP.IR مراجعه کنید یا با شماره تلفن ۷۷۸۵۰۲۵۹ - ۰۲۱ تماس حاصل فرمائید.

تقدیم به:

همسر و فرزندان عزیزم

فهرست مطالب

۱۰	..... سخن مولف
۱۱	..... فصل اول- فرایند انفجار
۴۱	..... فصل دوم- ترموشیمی و فیزیک مواد منفجره
۸۷	..... فصل سوم- آتش کاری
۱۱۳	..... فصل چهارم- پاوردک
۱۲۷	..... فصل پنجم- چاشنی ها، دتوناتورها
۲۰۱	..... فصل ششم- سامانه شوک بر
۲۲۳	..... فصل هفتم- نیترات آمونیوم
۲۴۹	..... فصل هشتم- منفجره های تجاری
۳۰۱	..... فصل نهم- موارد ایمنی و احتیاطی در کار با منفجره های تجاری، چاشنی و دتوناتور
۳۸۳	..... پیوست ها
۳۹۷	..... مراجع

سخن مؤلف

پس از چاپ کتاب مبانی ایمنی، ایمنی مواد پرانرژی، با توجه به نیاز به تدوین مطالب کاربردی در حوزه ایمنی در شیمی مواد خطرناک و پرانرژی، کتاب پیش رو با عنوان ایمنی مواد منفجره تجاری را تدوین نمودم تا گامی هر چند کوچک در کاهش رویدادها و حوادث در فرایندها باشد. تمامی دانشجویان رشته‌های مهندسی بهداشت حرفه‌ای و دانشجویان رشته‌های شیمی، مواد پرانرژی، مهمات و مواد منفجره، دست‌اندرکاران مواد ناریه، دانشجویان رشته‌های معدن، دانشجویان دانشکده‌های افسری و نیروهای نظامی و انتظامی می‌توانند از مطالب این کتاب بهره‌برداری لازم را بعمل آورند. به‌منظور اثربخشی مناسب مطالب ارائه شده می‌بایست جلد پیشین با عنوان مبانی ایمنی، ایمنی مواد پرانرژی و مطالب این کتاب به صورت توأم مورد استفاده قرار گیرد. مطالب ارائه شده در سلسله کتب این مجموعه همچنین در کلیه صنایع تولیدی، وزارت دفاع و صنایع نظامی وابسته به آن، کلیه‌ی نیروهای مسلح و صنایع وابسته به آن‌ها، وزارت راه و ترابری، وزارت صمت، وزارت نفت، پالایشگاه‌ها، پتروشیمی‌ها، مراکز فنی و حرفه‌ای و غیره می‌تواند مفید واقع شود.

همواره زندگی در جهانی امن و عاری از خطر، آرزوی انسان‌ها بوده و توجه به ایمنی به صورت تلاش برای بقاء از بدو خلقت در نهاد بشر به ودیعه گذاشته شده است. از سویی بشر همواره در تلاش برای بهبود زندگی و سطح رفاه خود بوده و فعالیت‌های صنعتی، بخشی از تلاش‌های بشر برای رسیدن به رفاه، آسایش و امنیت بیشتر است.

سعی بر آن است تا در سلسله کتب این مجموعه، موارد ایمنی و فنی مطابق استانداردهای بین‌المللی مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

عبدالقدیر شه‌بخش

فصل اول – فرایند انفجار

انفجار:

انفجار یک واکنش شیمیایی از نوع خود منتشر شونده است که در طی آن، مواد منفجره اعم از جامد، مایع و یا گاز در مدت بسیار کوتاه (در حد میکروثانیه)، به محصولات گازی شکل داغ و پرفشار تبدیل می‌شوند. به عبارت دیگر، پدیده‌ی آزادشدن انرژی در زمان بسیار کم و با سرعت بسیار بالا (بالتر از سرعت صوت)، که در آن موج شوک^۱ تولید و انتشار می‌یابد، را انفجار می‌نامند. انفجار همچنین می‌تواند، فرایند انبساط ناگهانی مواد به حجمی بسیار بزرگتر از حجم اولیه بوده که توام با صدا و تاثیرات مکانیکی زیادی می‌باشد، مانند ترکیدن و غیره، لذا هنگامی که مقدار زیادی انرژی به‌طور ناگهانی آزاد شود، انفجار رخ داده است.

انواع انفجارات:

۱- انفجار فیزیکی، در اثر فشرده‌شدن و یا تحولات فیزیکی رخ می‌دهد مثل انفجار آتشفشان و یا انفجار دیگ‌بخار و مخازن تحت فشار ۲- انفجار شیمیایی، با یک واکنش شیمیایی در زمان کوتاه با مقدار زیادی انرژی و تحول بسیار سریع گرمازا رخ می‌دهد و طی آن حرارت، گاز و بخارات بسیار داغ تشکیل شده که دائم در حال انبساط می‌باشند. سرعت بالای واکنش (در حد صدم ثانیه)، فضای بسیار کم، نسبت به حجم بسیار زیاد گاز داغ در حال انبساط، و دمای بسیار بالای ناشی از واکنش شیمیایی (چند هزار درجه سانتی‌گراد)، باعث می‌شود تا فشار به بالای چند صد اتمسفر رسیده و تولید موج انفجار را نماید که قادر به شکستن دیواره مخزنی که در آن قرار گرفته و یا تخریب ساختمان‌ها، تجهیزات، نیروی انسانی که در ناحیه‌ی موج قرار دارد، شده و این خود موجب ایجاد تخریب در محیط اطراف و حتی در مناطق دورتر می‌شود ۳- انفجار اتمی، بر اثر جوش هسته‌ای یا شکافت هسته‌ای به‌وجود می‌آید. انرژی یک انفجار هسته‌ای، چندین میلیون برابر انرژی حاصل از انفجار شیمیایی بوده، امواج شوک آن بسیار با دوام و دارای فشار بسیار بالا هستند و اثرات تشعشعات آن تا مدت‌ها در محیط باقی می‌ماند.

¹ Shock Wave

پدیده انفجار در مواد پرنرژی:

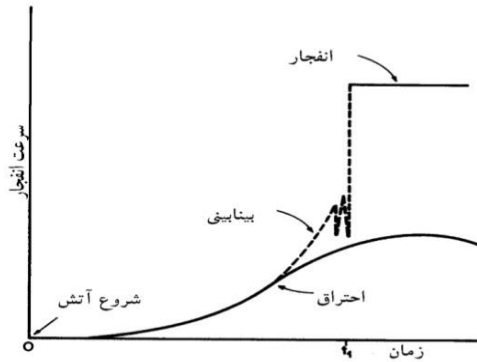
عمل انفجار، گسترش یک واکنش شیمیایی با سرعت مافوق صوت درون مواد منفجره و تبدیل آن‌ها به مواد دیگری است که عمدتاً گازهای داغ می‌باشند. در پدیده انفجار، در اثر پالس‌های موجود در سطح سوزش، شدت سوختن خطی آن قدر افزایش می‌یابد، که به بالاتر از سرعت صوت رسیده و تجزیه‌ی ناگهانی رخ می‌دهد. در فرایند انفجار، صدا، نور و فشار خیلی زیادی به همراه موج‌های ضربتی یا موج گاز و یا هر دو، به صورت ناگهانی ایجاد می‌شود.

انرژی مواد منفجره:

انرژی ذخیره شده در یک جسم عادی، ناشی از مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل می‌باشد. در مواد منفجره نیز انرژی ذخیره شده، مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل بوده و همچنین مواد منفجره دارای پیوندهایی می‌باشند که دارای انرژی زیادی به صورت نهفته می‌باشند که به آن انرژی داخلی یا نهان (انرژی استاتیکی)، می‌گویند. با انفجار ماده، این انرژی‌های پیوندی نیز آزاد شده و به صورت کار مکانیکی (ضربه، افزایش حجم) و حرارت خود را نشان می‌دهند.

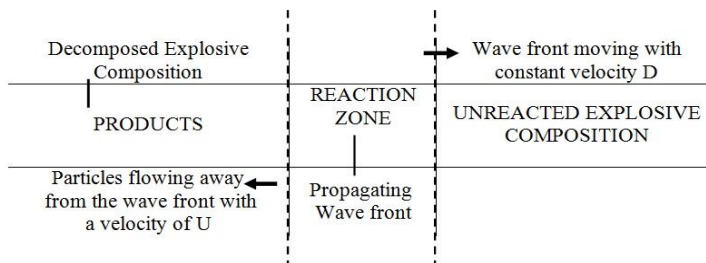
فرایند انفجار:

جهت شروع انفجار، باید ابتدا مقداری انرژی به یک ماده منفجره اعمال شود. در شروع فرایند احتراق مادون صوت (Deflagration) و یا احتراق مافوق صوت (Detonation)، نقاط داغ (hot spot)، که اجزایی کوچکی از جسم هستند و انرژی اعمال شده، در آن‌ها متمرکز می‌شود، تشکیل و با گسترش این نقاط، حرارت سطح ماده افزایش یافته و سبب به وجود آمدن مواد فرار و واکنش گرمازا که یک واکنش خود پیشرو است، می‌شود. نقاط داغ در مواد پرنرژی جامد، در اثر فشردن آدیاباتیک حباب‌های هوا، گاز و یا بخار موجود در ساختار مواد منفجره، یا ایجاد اصطکاک بین بلورهای اجزای تشکیل دهنده (مواد منفجره اولیه عمدتاً به این علت است)، یا با حرارت ایجاد شده در اثر ویسکوز شدن مواد ناریه به وجود می‌آیند. تفاوت تشکیل نقاط داغ در منفجره‌های اولیه و ثانویه به علت دمای ذوب آن‌ها می‌باشد.



شکل ۱-۱ فرایند حریق، سوزش شدید و انفجار با توجه به زمان و سرعت واکنش

در بیشتر موارد می‌توان انفجار یک ماده شیمیایی را در چهار مرحله زیر خلاصه کرد، الف) آفرزش ب) پیشرفت، (بینابینی)، تجزیه سریع^۱ ج) انتقال از تجزیه سریع (بینابینی) به انفجار د) پیشرفت انفجار، اگر سرعت موج شاک از سرعت صوت بیشتر شود به آن انفجار (detonation) می‌گویند. در انفجار، موج انفجار که در واقع همان تغییر ناگهانی فشار می‌باشد، ایجاد و با سرعت مافوق صوت که بستگی به سرعت انفجار ماده‌ی منفجره دارد، به سمت جلو حرکت کرده و متعاقب آن صفحه C-L نیز با همان سرعت بسیار بالا، جابه‌جا می‌شود. لذا فرایند انفجار را می‌توان شبیه یک موج در نظر گرفت که توسط جبهه موج هدایت شده و با سرعت ثابت D به سمت ماده‌ی منفجره‌ی مصرف نشده (واکنش نداده) پیش می‌رود.



شکل ۲-۱ حرکت موج در ماده منفجره

¹ Deflagration

U سرعت ذرات در حال حرکت، C سرعت موج صوت، D سرعت یکنواخت جبهه موج خواهد بود. در این صورت $D = U + C$ می‌باشد. اگر سرعت ذرات ماده منفجره (U) خیلی کم باشد، موج شوک ضعیف بوده و سرعت آن به سمت سرعت صوت میل می‌کند، اما انفجاری رخ نمی‌دهد. اگر سرعت ذرات ماده منفجره (U) زیاد باشد، موج شوک سریع‌تر از سرعت صوت حرکت خواهد کرد و انفجار به وقوع خواهد پیوست.

پدیده موج انفجار:

رویدادی که شامل یک آشفستگی فشاری قوی و آزادشدن ناگهانی و زیاد انرژی باشد، موج انفجار نامیده می‌شود. از مشخصه‌های موج انفجار، افزایش لحظه‌ای و تقریباً آبی فشار، از فشار محیط تا فشار پیک ناشی از رویداد (Pi) می‌باشد. این افزایش فشار یا "جبهه‌ی موج انفجار" به صورت شعاعی از نقطه‌ی آغازش انفجار، با یک سرعت نزولی که اغلب به طور متوسط بیش از سرعت صوت می‌باشد، به سمت بیرون حرکت می‌کند. سرعت حرکت مولکول‌های گازی که به آن سرعت ذرات گفته می‌شود و ساختار جلویی "جبهه موج انفجار" را ایجاد می‌نمایند، کم‌تر بوده و همواره، همراه با فشار دینامیک یا فشاری است که به وسیله باد و چرخش ایجاد شده توسط جبهه موج انفجار شکل می‌گیرد. هنگامی که جبهه موج انفجار هر چه بیشتر درون حجم‌های وسیع‌تری، منبسط شده و گسترش می‌یابد، فشار رویداد کاهش پیدا کرده و عموماً مدت فشار - پالس افزایش پیدا می‌کند. اگر "موج ضربتی انفجار" به یک سطحی از جسم صلب (به عنوان مثال؛ یک ساختمان)، که در مسیر انتشار آن موج قرار دارد، با زاویه‌ای برخورد کند. فوراً در آن سطح از جسم صلب (سخت)، یک فشار انعکاسی به وجود آمده و روی همان سطح گسترش می‌یابد. به وجود آمدن این فشار، به علت مقاومت جسم صلب، در برابر مقداری از فشار رویداد است که متجاوز از اثر برخورد با سطح صلب می‌باشد. این فشار منعکس شده (برگشت خورده)، تابعی از فشار موج رویداد (برخوردی) و زاویه‌ای که بین سطح جسم صلب (جسم سخت)، و سطح "جبهه موج انفجار" تشکیل می‌گردد، می‌باشد.