



Graf č. 5 Závislosť doby života t_{FB} na hmotnosti definovanej látky v zásobníku.

Postup hodnotenia BLEVE efektu - identifikačné stopy

- technologická časť, kde nastala reakčná premena - reprezentatívny scenár typu BLEVE v zásade nie je poznačená výraznými tlakovými prejavmi presahujúcimi tlakový účinok deflagračnej výbuchovej reakčnej premeny,
- je potrebné získať parametre skladového zásobníka, ktorý podľa uvedeného typu reakčnej premeny (alebo, na ktorý tvoríme prognózu - scenár pre možné účinky BLEVE - ak množstvo média sa pravidelne mení parametre BLEVE pre scenár počítame s variantnými hodnotami M) : druh skladovaného média, tlak, skladované množstvo v čase havárie, hrúbku steny plášťa havarovaného zásobníka,
- identifikovať úlomky skladového zásobníka, časť namáhanú pretlakom, časť skladového zásobníka z ktorého nastal únik fireballu - namáhanú podtlakom,
- veľkosť otvoru - štrbiny, ktorou nastal únik skladovaného média v prípade, že dôjde len k uvoľneniu média cez štrbinu a proces úplného rozvoja BLEVE efektu nenastane,
- identifikovať tepelný dosah na tepelne exponovaných materiáloch v okolí napr.: tepelná degradácia polymérnych materiálov, tepelná expozícia drevených súčastí, stupeň tepelnej expozície živých organizmov, vrátane obsluhy resp. členov zasahujúcej jednotky.

Obecná charakteristika a prejavy vzniku BLEVE na zásobníkoch

Ak zásobník je tlakovou nádobou (nie je podmienkou) a znáša tlak skvapalneného plynu a je vystavený nárastu teploty z plameňa, vzniká nebezpečenstvo účinku plameňa a vznik trhliny na plášti zásobníka. Ak sa tento zásobník roztrhne potenciálne nebezpečenstvo na okolie, ktoré vznikne zahŕňa :

- výbuch,
- lietajúce fragmenty z plášťa zásobníka,
- pôsobenie tepelnej radiácie z ohňa,
- vznik toxických splodín.

Zásobník napr.: na LPG (Liquified Petroleum Gas) v podmienkach, že je vystavený vonkajšiemu pôsobeniu teploty, vzniká nebezpečenstvo, že sa zásobník poškodí a ak bude poškodenie významné, potom môže vzniknúť BLEVE efekt v postupnosti, ktorá bola vyššie definovaná. Bezprostredným nebezpečenstvom na okolie sú tepelné účinky a fragmenty. Ak bude obsah zásobníka toxický, potom sa nebezpečenstvo rozširuje aj o toxické účinky. Ak obsah zásobníka je horľavý a okamžite nastane zapálenie, potom je možný vznik fireballu s jeho tepelným pôsobením a termálnou radiáciou na okolie. Ak horľavý obsah nie je ihneď

zapálený, ale proces horenia je opozdený, toto môže viesť k rozšíreniu požiaru alebo v niektorých prípadoch aj k výbuchu.

Podmienky - dôvody poškodenia zásobníkov

Uvedieme základné faktory, účinkom ktorým môže byť zásobník vystavený v priebehu požiaru :

- nekontrolovateľný vývoj tlaku v zásobníku, ktorý je spôsobený v dôsledku rastu teploty alebo reakčnej premeny,
- deformácia stien zásobníka, ktorá môže byť vyvolaná zmršťovaním vystužujúcich oblúkov a degradácia materiálu vyvolaná vysokou teplotou,
- namáhanie materiálu plášťa zásobníka v dôsledku nerovnomerného tepelného pôsobenia na plášť zásobníka, prirodzenými rozdielmi teplôt hornej a dolnej plochy zásobníka,
- mechanické poškodenie zásobníka, spôsobené koróziou, nárazom, alebo zlým zaobchádzaním.

Aby bol zásobník vyššie uvedeným postupom poškodený, musia byť jeho steny zahriate na určitú teplotu a potom stlačené tak, aby došlo k deformácii materiálu. Po určitej dobe, dôsledkom deformácie vznikajú v plášti zásobníka trhliny alebo doslova diery. Trhlina sa môže zväčšovať, alebo môže zostať v stabilnom stave po jej vzniku, závisí to len od podmienok a stavu steny a termodynamických podmienok obsahu zásobníka. Rozsah tlaku hrá významnú úlohu v obmedzení a rozvoji havarijného stavu zásobníka. Predkladáme poznatky ako rozsah tlaku ovplyvňuje následky a proces rozvoja havarijného stavu počas vystavenia zásobníka pôsobeniu ohňa. Ide o nasledovné vplyvy :

- prenos tepla do zásobníka,
- degradácia materiálu stien zásobníka v dôsledku teploty,
- vznik pretlaku v zásobníku a prvé tlakové odľahčenie cez ventil - proces PRV (pressure relief valve)
- rozdelenie energie kvapaliny a pary,
- čas na uvoľnenie cez PRV proces,
- namáhanie zásobníka a jeho porušenie,
- obnovenie - vyrovnanie prehriatia - super teploty a tlaku,
- šírenie a vývoj trhliny,
- časový rozvoj poškodenia zásobníka

Vystavenie zásobníka tepelnému účinku - scenár

Prenos tepla do zásobníka pri požari je veľmi špecifická problematika. Prestup tepla z plameňa bude závisieť na mnohých parametroch, ako sú druh vyhorievaného "paliva", podmienky vetra - stálosť plameňa, veľkosť plameňa - intenzita horenia, kvality krytia

povrchu zásobníka a pod. Nie je možné zahrnúť do hodnotenia všetky prípady vyhotovení zásobníkov.

Zásobník čiastočne naplnený s LPG môže byť vystavený nárastu teploty z ohňa v polohe nad kvapalinou. Táto vysoká teplota vedie k výraznému ohriatiu stien zásobníka a následne oslabeniu materiálu. Vnútorňý tlak v zásobníku vzrastá ako vzrastá teplota obsahu zásobníka a tento fakt vedie k zvrášťovaniu a stenčovaniu stien v oblastiach významných nahriatí, čo môže dokonca viesť k vytvoreniu trhlin alebo prasklín v stene zásobníka. Ak trhlinka zväčšuje vonkajšiu dĺžku potom nasleduje BLEVE. Ak sa trhlinka zastaví, nasleduje spravidla uvoľnenie prechodného prúdu (Jet fire). Opísané procesy sa uplatňujú pri všetkých uhl'ovodíkových skvapalnených plynov.

Prenos tepla požiaru

Zovšeobecnenie vyššie uvedených poznatkov je možné sumarizovať nasledovne: pôsobenie ohňa na zásobník spôsobuje dva efekty

- 1) zahrievanie obsahu zásobníka
- 2) zahrievanie stien zásobníka.

Zahrievanie obsahu zásobníka zvyšuje obsah energie v zásobníku a vzrastá tlak. Zahrievanie stien zásobníka spôsobuje prehrievanie a oslabovanie stien zásobníka, čo sú faktory, ktoré vyvolávajú poškodenie (vznik praskliny) zásobníka. Zásobník sa môže poškodiť - vzniknúť na stene zásobníka prasklinka, aj keď obsah zásobníka nebol významne zahriaty, ale stena zásobníka bola oslabená dostatočným mechanickým poškodením, alebo významným dopadom tepelnej expozície plameňa.

Teplota steny zásobníka a degradácia materiálu

Vzrast teploty steny zásobníka spôsobuje oslabenie zásobníka a môže spôsobiť náhle poškodenie zásobníka. Preto čas, za ktorý vzrastá teplota steny zásobníka zohráva významnú úlohu v časovom vývoji havárie zásobníka vplyvom expozície plameňa. Ak plamene pôsobia na plášť zásobníka pod úrovňou kvapaliny, ktorou je zásobník naplnený, kvapalina v kontakte s vnútornou stenou je schopná zachovávať veľmi vysoký koeficient tepelného transferu - prenosu do kvapaliny, alebo fázovou zmenou kvapaliny na parnú fázu. Toto nie je zachované, ak lokálny ohrev plášťa zásobníka prekračuje kritické pomery ohrevu plášťa. V tomto prípade kvapalná fáza už nezvlhčuje z vnútornej strany plochu steny. Ak ohrev plášťa zásobníka zasiahne stenu v kontakte s parou potom para nevytvára ochladzovanie steny účinne a toto vedie k rapídne mu vzrastu teploty steny. Sila a odolnosť materiálu stien zásobníka z uhlíkovej oceli prudko klesá ak teplota steny zásobníka prekračuje 300 °C. Graf č. 6 vyjadruje závislosť relatívnej pevnosti oceli na teplote. Vo väčšine prípadov sa zaujímate o teploty stien v priestoroch pár, ktoré spravidla vysvetľujú a určujú následky poškodenia zásobníka.

Miera vzrastu teploty v stene zásobníka v priestore s parou je funkciou množstva dodaného tepla, tepelných strát zo zahrievaných a nezahrievaných strán, straty tepla vedením

kolmo na hlavný tok tepla, hrúbky steny a vlastností oceli plášt'a zásobníka vo vzťahu k expozícii plameňom. Tepelné straty zo zadnej strany (čelná stena zásobníka zahrievaná napr.: horákovým plameňom) zásobníka sú primárne spôsobené tepelnou radiáciou k povrchu kvapaliny a prúdením k priestoru pár a tieto budú závisieť od úrovne naplnenia zásobníka. Ak sa úroveň kvapaliny zväčší (vzrastie v dôsledku TLOCu - Total Loss of Containment - celkové uvoľnenie) počas tlakového odľahčenia, objem kvapaliny môže skutočne vzrásť, aby spojila priestor pár steny a straty tepla zadnej steny. Vedenie (kondukcia) strát tepla bude tiež závisieť od úrovne - hladiny naplnenia zásobníka. Keď sa hladina kvapaliny dvíha (v dôsledku zovretia celého objemu - akoby nastal utajený var) odvod tepla zo stien priestoru pár k chladnejšej steny - vlhkej vzrastá. Výška náplne nádrže rozhoduje o účinku chladenia - čím viac je zásobník naplnený, tým väčší účinok chladenia sa prejaví na teplotu radiácie ohňa spôsobeného jednak hmotnosťou ohniska (terču) a dĺžkou chladenej kvapaliny zahrievanou stenou zásobníka. Toto je ilustrované na grafe č.7, ktorý prezentuje Moodie a kol. [18], a ktorý vyjadruje vzrast teploty steny zásobníka na čase pre zásobníky s odlišnou úrovňou naplnenia v priebehu vystavenia účinkom plameňa Graf č. 8 znázorňuje veľkosť vzrastu teploty stien zásobníkov na čase meraných nezávisle v niekoľkých testoch. Vo všetkých testoch plamene pôsobiace na zásobníky boli realizované pomocou kaluží, ktorých priemer bol väčší ako 1 m a pôsobila dominantne termálna radiácia. Je potrebné pripustiť určité rozdiely v podmienkach testov, nakoľko boli realizované rôznymi autormi a rôznom čase, ale jednoduchá termálna analýza ukazuje určitú objektívnu závislosť - ten istý trend, napr.: hrubé steny vykazujú pomalší nárast teploty ako steny tenké. Graf č. 9 sumarizuje približné časy potrebné na zahriatie ocelových plátov rozličnej hrúbky na 600 alebo 700 °C pri aplikácii horákového alebo radiačného požiaru. Hodnotenia sú založené na predpokladoch :

- tepelný tok horáku je charakterizovaný teplotou plameňa 1300 K a koeficientom prúdenia tepla - tento je $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$,
- tepelný tok požiaru kaluže je založený na plameni s charakteristikou žiariča čierneho telesa pri teplote 1073 K,
- sálanie povrchu oceli = 0,9,
- vlastnosti materiálu odpovedajú rovnej - hladkej uhlíkovej oceli,

Vo všeobecnosti - čas rastu teploty je takmer lineárny s ohľadom na hrúbku steny zásobníka. Avšak také faktory ako úroveň naplnenia zásobníka, vietor a iné, môžu do značnej miery ovplyvniť čas zahrievania. Pre tie isté podmienky požiaru, ak je hrúbka stien dvojitá, potom čas na zahriatie je takmer dvojnásobný. Toto je dôležitý fakt vzhľadom k tomu, že čas zahrievania steny zásobníka v priestore s parou, predurčuje čas na poškodenie zásobníka vo väčšine prípadov. Inými slovami, väčšie zásobníky majú tendenciu poškodiť sa za dlhší čas, čo je spôsobené účinkami prenosu tepla na stenu v priestore s parou.