

Některé druhy lomů, vyskytující se u tlakových zařízeních



© Václav Pekař, 2024

iPotrubí.cz, Vysoké Mýto, 2024

Úvod

Článek se zabývá fraktografií u tlakových zařízení. Fraktografie se zabývá popisem a zdůvodněním lomových ploch a lomů. Jsou zde rozebrány nejdůležitější lomy vyskytující se u tlakových zařízeních.

Houževnatý /tvárný lom

Houževnatý, jinak tvárný, lom nastává, když konstrukce neunesse zatížení. Jde o lom v jediném cyklu nad teplotou křehnutí použitého materiálu. Může to být vlivem:

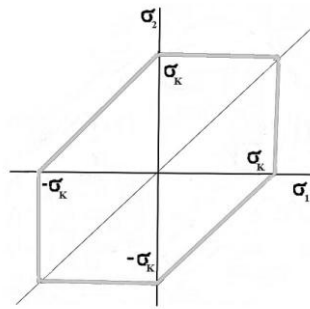
1. Chyby v pevnostním výpočtu. Vinou chyby ve výpočtu dojde k poddimenzování konstrukce a při prvním plném zatížení dojde k tomuto lomu.
2. Přetížení konstrukce v provozu. K přetížení konstrukce může dojít vzhledem k nedodržení předpisů obsluhou, např. vazač zatíží jeřáb, který nemá instalováno zařízení k hlídání nosnosti břemene, břemenem větším než je jeho nosnost. Dále může dojít k poruše zařízení, které přetížení konstrukce hlídá, jde například o poruchu pojišťovacího ventilu tlakové sestavy.
3. Náhlý úbytek materiálu (erozí, korozí, opotřebením). K úbytku materiálu erozí, korozí a opotřebením dochází ve většině případů postupně. A tak se mají možnost dříve projevit jiné druhy lomů zejména únavový.
4. Úmyslné přetížení konstrukce z důvodu poznání jejich skutečných vlastností, např. před sériovou výrobou, kontrola tlakovou zkouškou a také sem patří i všechny zkoušky materiálu na trhacím stroji.

Tvar houževnatého lomu. Klasický tvar je houževnatého lomu válcového vzorku přetrnutého na trhacím stroji. Má miskovitou plastickou část po krajích vzorku a uprostřed je křehký interkrystalický lom.



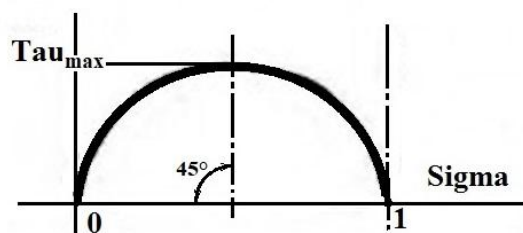
Obr.1.Houževnatý lom na válcovém vzorku

Úhel lomu plastické části je 45° na hlavní napětí, což je u válcového vzorku napětí v ose, což odpovídá hypotéze taumax (jinak Trescova hypotéza), kdy k porušení dochází v úhlu s maximálním smykovým napětím.



Obr.2. Zobrazení hypotézy taumax v rovinné napjatosti

Pro jednoosou napjatost tedy platí tato Mohrova kružnice:



Obr.3. Mohrova kružnice pro jednoosou napjatost. Zde je realná zkoumaná rovina vynášena vždy pod dvojnásobným úhlem.

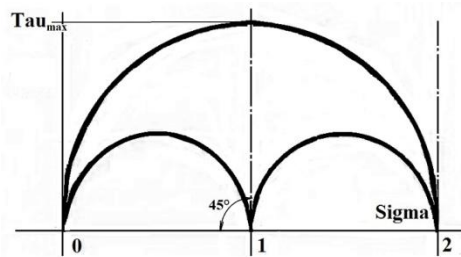
Velikost plastické a křehké části je závislá na velikosti houževnatosti materiálu, tj. na velikosti relativního prodloužení při mezi kluzu a pevnosti materiálu.

Tvar houževnatého lomu u válcové části tlakových nádob či potrubí vychází z toho, že u tenkostěnných konstrukcí dojde k překročení meze kluzu zhruba ve stejnou chvíli v celém průřezu stěny. Proto plastická oblast je na vnitřní a vnější straně válce. I zde je úhel sklonu lomu pro plastickou část 45° ke směru většímu hlavnímu napětí, což je u válcových tlakových nádob a potrubí napětí obvodové. Sklon 45° se může střídát vzhledem k lomovým plochám na obou stranách lomu, viz obrázek. Jde-li o oblast, kde existují i napětí od jiných zatížení, např. blízko svaru, vyrovnání ovality apod., může se vliv tohoto napětí zobrazit na lomové ploše. Lom se vždy projeví kolmo na větší hlavní napětí.



Obr.4. Houževnatý lom na válcové tlakové nádobě

U válcové části nádob je osové hlavní napětí vždy jedna polovina obvodového. A sklon úhlu lomu je tak odvozen od obvodového hlavního napětí. Na Mohrově kružnici to tak bude vypadat takto:



Obr.5. Mohrova kružnice pro rovinnou napjatost. Zde je reálná zkoumaná rovina vynášena vždy pod dvojnásobným úhlem.

Křehký lom

Křehký lom je jev, který se vyskytuje u všech materiálů a je spojen s lomem bez toho, aby došlo k výrazné deformaci materiálu před jeho lomem. Křehký lom je způsoben normálovými napětími, proto se vyznačuje typickým štěpným aspektem se separačními plochami pod úhlem 90° vzhledem k působení zatížení. V tomto případě zde platí hypotéza maximálního normálového napětí, tj. Rankinova hypotéza.

Ke křehkému lomu na rozdíl od houževnatého lomu dochází při minimální absorpci energie konstrukcí, s okamžitým šířením a bez varovných signálů. Tedy křehký lom nastává, když se z nějakého důvodu houževnatá (tvárná) část lomu nerozvine. Jde opět o lom v jediném cyklu, i když nebývá první. Křehký lom tedy nastává vlivem např.:

1. Rychlého zatížení, např. nějakým rázem, impulzem
2. Křehké struktury materiálu u většiny kovů, která nastává z důvodu vystavení materiálu pod přechodovou teplotou
3. Křehké struktury materiálu při jakékoli teplotě např. litiny

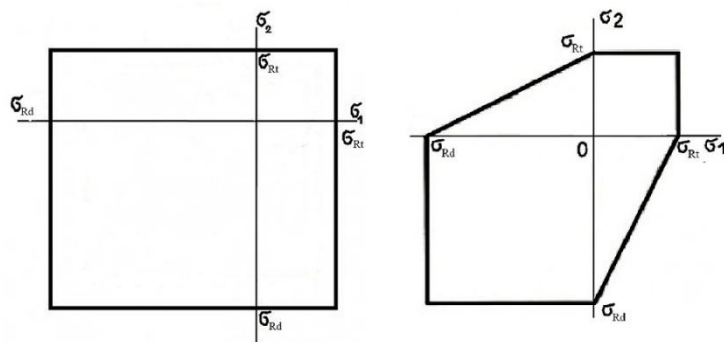
Kovy mají lomové chování, které je obecně houževnaté, ale při teplotách pod přechodovou hodnotou dochází k náhlému přechodu od porušení se značnou absorpcí energie (tj. houževnatého lomu) k prasknutí bez citelné absorpce energie (tj. křehkému lomu). Pro provoz při teplotách pod -50°C se používají prakticky pouze austenitické oceli nebo slitiny hliníku či mědi, zatímco normální uhlíkové nebo vysoce legované oceli s feritickou strukturou lze použít pouze pro vyšší teploty.

Tvar křehkého lomu. Klasický tvar křehkého lomu válcového vzorku je na dalším obrázku.



Obr.6. Křehký lom na válcovém vzorci. Je zde vidět i iniciační místo trhliny

Podle nejstarší hypotézy křehké pevnosti dochází k porušení materiálu tehdy, když některé normálové napětí dosáhne hodnoty křehké pevnosti materiálu. Na obrázku je vzorek zatížený osovou napjatostí, kde ani pozdější Mohrova hypotéza nepřinesla žádné změny.



Obr.7. Rankinova a Mohrova hypotéza křehkého lomu v rovinné napjatosti

Pro tlakové nádoby jsou příklady křehkého lomu tlakových nádob zde na dalších obrázcích:



Obr.8. Křehký lom na tlakových nádobách

A obrázek lomu u tlakových nádob je zde:



Obr.9. Detail křehkého lomu ve stěně tlakové nádoby. Je zde náhlý přechod v průměru tlakové nádoby a z toho vyplývající místo iniciace lomu

Dále musíme konstatovat, že u svislých tlakových nádob jsou obě hlavní napětí tažná, napjatost je vždy v horním pravém kvadrantu podle obr.7, proto neexistuje rozdíl mezi Rankinovou a Mohrovou hypotézou. V případě horizontálních tlakových nádob a horizontálních potrubí zde k napjatosti přistupuje ještě zatížení od vlastní hmotnosti a tak v horní části může být osová napětí tlakové. Napjatost se tak může ocitnout například v pravém dolním kvadrantu. Zde proto koeficient bezpečnosti musí být určen podle Mohrovy hypotézy.

Křehký lom u potrubí má jedno specifikum: Křehký lom se šíří ve směru kolmo na větší hlavní napětí tj. na napětí obvodové. Křehký lom se šíří rychlostí jakým se šíří zvuk v daném prostředí tedy v našem případě oceli. Ale vnitřní tlak v potrubí, v případě, že je zde natlakován plyn, nedokáže tak rychle klesnout, a tak se křehký lom rozšíří velice rychle až do nějaké překážky, kde se mění napěťové pole, např. ke svaru – viz obrázek dále.



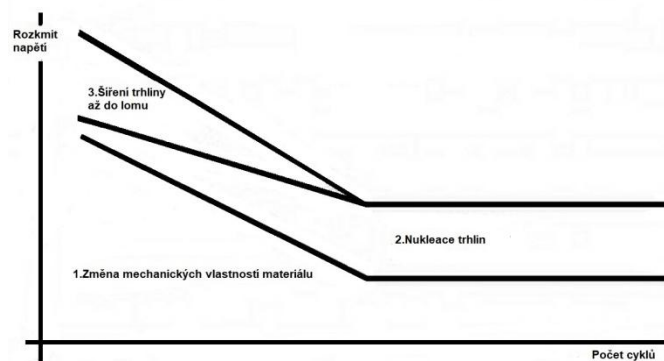
Obr.10. Křehký lom na trubce

Únavový lom

Únava materiálu je pomalu postupující a kumulující se poškození materiálu, které vzniká opakovaným zatěžováním a z toho plynoucími plastickými deformacemi v místech koncentrace napětí. Proces může vést až k únavovému lomu. Průběh je závislý na počtu zatěžovacích cyklů. Únava materiálu souvisí nejen s jeho vlastnostmi, ale i se stavem jeho povrchu (drsnot, vruby, povrchové koroze atd.).

Při vzniku únavového lomu rozeznáváme stadia:

1. Inkubace únavového procesu, kdy vznikají změny fyzikálních a mechanických vlastností.
2. Vznik trhlin a jejich šíření.
3. Vznik únavové trhliny. Únavové trhliny vznikají už ve hranicích zrn a vzniká hlavní trhlina, která se šíří směrem vektoru k hlavnímu napětí.
4. Vznik nestability trhliny, kdy se trhlina rozšiřuje a velice rychle roste, a tak následuje lom



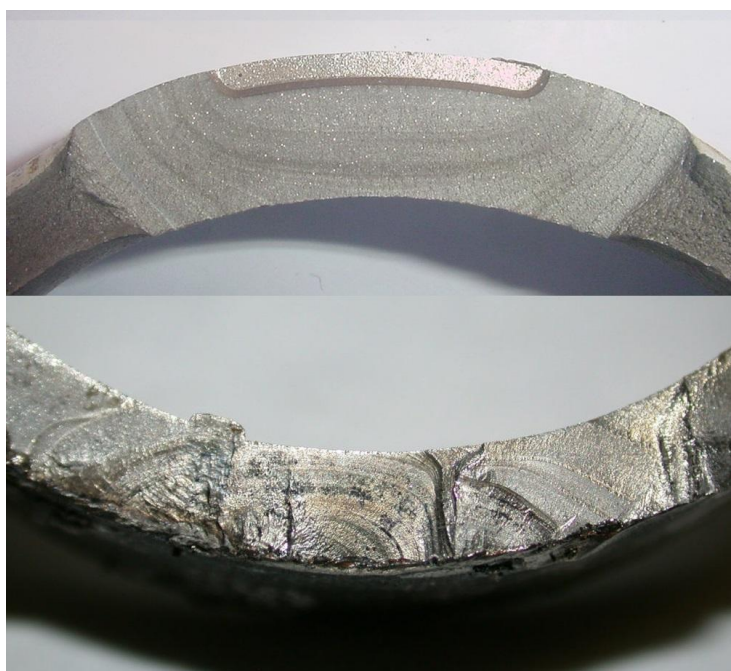
Obr.11.

Pro únavový lom je vždy charakteristický tvar lastury, kdy každá křivka, ze které se lastura skládá, znamená jeden zatěžovací cyklus. Zbytek materiálu, který už zatěžovací cyklus neunes, se zlomí najednou křehkým lomem.



Obr.12. Vzorky s únavovým lomem

Únavový lom u tlakových zařízení. I zde se ve všeobecnosti únava rozdělujeme na vysokocyklovou a nízkocyklovou. U tlakových zařízení je nízkocyklová (vysokonapěťová) únava způsobena střídáním zatěžovacích cyklů v provozu, kdy jeden cyklus se počítá od najetí celého zařízení do provozu až po odstavení zařízení např. z důvodů pravidelné údržby. Vysokocyklová (nízkonapěťová) únava je způsobena vibracemi potrubí, kde je bývá zapojeno i hrdlo tlakové nádoby. Z hlediska vysokocyklové únavy je nejnebezpečnější místo připevnění nátrubku hrdla na plášť nádoby.



Obr.13 Válcové vzorky s únavovými lomy

Creepový lom.

A nakonec zde uvedeme poslední, málo se vyskytující creepový lom. Creep se vyskytuje u ocelových konstrukcí, které jsou zatěžovány při vysokých teplotách (cca 400°C). Je to jev, při kterém se deformace a následně lom stane při konstantním, tj. nezměňujícím se napětí.

Při výpočtu tlakových zařízení se jako dovolené napětí určuje napětí, při kterém je deformace konstrukce omezena na max. 1% za 100000 hodin provozu. Nejen z toho vyplývá, že ještě před creepovým lomem se nebezpečí prozradí velkou deformací ještě před lomem. V některých případech se z tohoto důvodu deformace v nebezpečných místech za provozu hlídá.



Obr.14 Příklady creepových lomů