

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta strojního inženýrství

**Doc. RNDr. Bohumil Vlach, CSc.**

**HOUŽEVNATOST MATERIÁLU A CHARPYHO ZKOUŠKA  
TOUGHNESS AND CHARPY TEST**

TEZE PŘEDNÁŠKY KE JMENOVÁNÍ PROFESOREM



Brno 2002

**KLÍČOVÁ SLOVA**

zkouška rázem v ohybu, instrumentovaná rázová zkouška, kovy, polymery, dynamická lomová houževnatost

**KEY WORDS**

Impact Bend Test, Instrumented Impact Bend Test, Metals, Polymers, Dynamic Fracture Toughness

## OBSAH

1	Úvod .....	5
2	Oceli .....	6
2.1	Hodnocení houževnatosti ocelí .....	6
2.2	Štěpný lom konstrukčních ocelí .....	8
2.2.1	Instrumentovaná zkouška rázem v ohybu .....	9
	Dynamická mez kluzu .....	10
	Kritické lomové napětí .....	10
2.2.2	Dynamická lomová houževnatost .....	11
3	Litina s kuličkovým grafitem .....	11
3.1	Dynamická lomová houževnatost litina s kuličkovým grafitem .....	12
4	Plasty .....	13
4.1	Hodnocení odolnosti plastů vůči šíření nestabilního lomu a rázová zkouška .....	14
5	Shrnutí .....	15
6	Summary .....	16

## PŘEDSTAVENÍ AUTORA

Bohumil Vlach se narodil v roce 1941 v Brně. V letech 1958 až 1963 studoval fyziku na Přírodovědecké fakultě Masarykovy university v Brně. Studium ukončil ve specializaci „Fyzika pevných látek“ státní závěrečnou zkouškou a obhajobou diplomové práce na téma „Změny ve struktuře polykrystalické mědi účinkem plastické deformace.“ Po skončení studia byl přijat na studijní pobyt do Ústavu fyzikální metalurgie (nyní Ústav fyziky materiálu) ČSAV. Během studijního pobytu se zabýval problematikou vnitřního útlumu kovů. V roce 1971 složil na Universitě v Brně rigorózní zkoušku ve vědním oboru experimentální fyzika a byl mu udělen titul RNDr..

Po skončení studijního pobytu v ÚFM byl přijat do nově vzniklé skupiny "křehký lom". Z tohoto období je i téma jeho kandidátské disertační práce "Vliv tepelného stárnutí na plastickou deformaci a lomové chování nízkouhlíkových ocelí". Práce byla odevzdána v roce 1973. Obhajoba práce byla povolena po 13-ti letech, v roce 1986, kdy získal titul CSc. V letech 1973-75 začal v ÚFM intenzivní výzkum materiálových charakteristik zavedených lomovou mechanikou ( $K_{IC}$ ,  $J$ -integrálu). Cílem těchto prací byl rozbor základních podmínek mikromechanismu štěpného porušení ocelí, jako výchozí charakteristiky pro predikci lomové houževnatosti. Tato problematika byla dále studována na nízkolegovaných ocelích, které se používají v tepelně zpracovaném stavu (oceli pro tlakové nádoby v petrochemickém průmyslu a jaderné energetice, oceli pro výrobu rotorů a skříní parních turbín a pod.). Řadu let pracoval v redakční radě časopisu „ZVĀRANIE“.

V prosinci 1991 se přihlásil do konkursu na místo odborného asistenta Strojní fakulty VUT v Brně. Byl přijat na katedru "Nauky o materiálu". V roce 1996 na Strojní fakultě VUT v Brně obhájil habilitační práci "Křehký lom konstrukčních materiálů" a získal titul docenta v oboru "Materiálové inženýrství a mezní stavy materiálů". Bylo mu umožněno připravit přednášky "Mezní stavy materiálu" pro třetí ročník magisterského studia (pokus o nekonvenční učební text předmětu je na <http://www.zam.fme.vutbr.cz/vlach/>), "Zkoušení materiálu" pro specializaci materiálové inženýrství (učební text se připravuje). Dále mu byla svěřena příprava několika cvičení v základním kursu "Nauka o materiálu" magisterského a bakalářského studia a bylo mu umožněno zpracovat dvě kapitoly publikace: Ptáček a kol. „Nauka o materiálu I“. Vedl více než deset diplomových prací ve specializaci materiálové inženýrství. Je autorem případně spoluautorem více než 170 publikací a příspěvků v našich a zahraničních časopisech i sbornících konferencí a spoluautorem více než 60 výzkumných zpráv. V rámci projektů MŠMT se mu podařilo:

- Zakoupit 20 kN zkušební stroj se snímači prodloužení. V rámci doktorandského projektu doplnit stroj přípravky a metodikami pro měření pevnosti a lomové houževnatosti konstrukční keramiky. Ve spolupráci s Ústavem mechaniky těles byl stroj doplněn snímačem příčného zúžení, zařízením pro zkoušky krutem a teplotní komorou (+200 ≈ - 60)°C.
- Instrumentovat Charpyho rázové kladivo a rozpracovat metodiky měření na tomto zařízení v souladu s návrhy příp. stávajícími normami EN. Jedná se o instrumentovanou zkoušku rázem v ohybu a metodiku měření dynamické lomové houževnatosti pro kovy i plasty.
- Modernizovat starší 100 kN zkušební stroj TIRAtest tak, že odpovídá současným požadavkům na moderní zkušební zařízení řízené počítačem.
- Navázat v rámci projektu ACTION spolupráci s prof. Sabine Seidler z TU Vídeň při výchově aspiranta ing. Petra Bohatého v oboru studia mechanických vlastností plastů.

Je školitelem doktorandů v oboru Fyzikální a materiálové inženýrství. Ve spolupráci s ÚFM AV ČR v Brně se podílí na výchově několika doktorandů, z nichž tři již úspěšně dokončili studium. Byl spolunavrhovatelem(4) i spoluřešitelem(2) projektů GA ČR a je členem ESIS.

## 1 ÚVOD

Materiálové inženýrství je vědním oborem, který využívá vědecké poznatky materiálových věd k cíleným zásahům do struktury materiálu za účelem získání jeho vhodných užitných vlastností. Na technických univerzitách má tento obor uplatnění jak pro konstruktérské, tak i technologické zaměření studia. Materiálové inženýrství zahrnuje řešení materiálových problémů v celém cyklu života strojů, příp. konstrukcí – od výběru materiálu pro konstrukční návrh, kontroly jeho vlastností, přes hodnocení degradace vlastností materiálu při výrobě, až po hodnocení degradace materiálu během provozu stroje nebo konstrukce.

Materiálové inženýrství má kořeny ve zkušenostech generací inženýrů s materiálem a s jeho použitím k výrobě strojů příp. konstrukcí. V průběhu historie se mnohokrát stalo a stává se i v dnešní době, že zavádění nových materiálů a technologií do praxe vede k haváriím, jež mají příčinu v selhání materiálu. Jako příklad můžeme uvést období rozvoje železnic (1840) spojené s haváriemi poloos železničních vagónů a zkoušení vysokocyklové únavy železničním inženýrem Augustinem Wöhlerem; havárie lodí Liberty (1943), jejichž trupy byly vyrobeny novou technologií – svařováním a následně rozvoj zkoušky rázem v ohybu; havárie prvních civilních tryskových letadel Comet vyrobených v Anglii společností de Havilland a Parisův zákon šíření únavové trhliny. Právě rozbor příčin těchto havárií ukázal, že pro volbu materiálu pro daný typ konstrukce nestačí pouze klasická hodnota smluvní pevnosti materiálu určená na základě tahové zkoušky. Bylo nutné postupně hledat a zavádět nové metodiky zkoušení materiálu, které umožňují získat informace o vlastnostech materiálu za různých podmínek namáhání.

V oblasti hodnocení jedné ze základních mechanických vlastností houževnatosti je touto zkouškou zkouška rázem v ohybu podle Charpyho. Během své, dnes již stoleté historie prožívala tato zkouška „zlatý věk“ při rozborech havárií lodí Liberty. Později nástupem lomové mechaniky byla tato zkouška považována za překonanou. Jednoduchost, reprodukovatelnost, nízká cena a dále pak instrumentace rázové zkoušky přinesla v dalším vývoji její renesanci a v současné době je tato metodika normalizována jak pro kovy, tak i pro plasty v nových evropských standardech pro zkoušení materiálu a to jak v klasické, tak i instrumentované podobě. Šíří použití a význam této zkoušky doložila i mezinárodní konference konaná v říjnu 2001 ve francouzském městečku Poitiers. Touto konferencí si technická veřejnost připomenula sto let od vzniku práce A. G. A. Charpyho publikované jednak v časopise „Memoires de la Société des Ingénieurs Civil de France“ a přednesené na Mezinárodním kongresu sdružení pro zkoušení materiálu v Budapešti. Práce měla název „Note sur l'essai des métaux à la flexion par choc de barreaux entaillés“ (Poznámka ke zkoušení kovů vrubovou nárazovou zkouškou na ohyb).

Na Ústavu fyzikální metalurgie (ÚFM) Akademie věd České republiky v Brně jsme se v rámci studia podstaty tranzitního lomového chování ocelí zabývali instrumentací druhé nejstarší mechanické zkoušky a to instrumentací zkoušky rázem v ohybu podle Charpyho. Naše práce vzbudily pozornost jak u nás, tak i ve světě, což dokazuje skutečnost, že některé z našich prací jsou citovány i v dnešní době. Na současném pracovišti, na Ústavu materiálového inženýrství FSI VUT v Brně jsem v rámci projektu MŠMT rozšířil možnosti Charpyho kyvadlového kladiwa pro použití na instrumentované rázové zkoušky jak kovových materiálů (oceli, litiny), tak i plastů.

V přednášce bych rád na základě vlastních zkušeností poukázal na možnosti, které skýtá zkouška rázem v ohybu v inženýrské praxi a jak tyto možnosti postupně vznikaly v oblasti

materiálového výzkumu. Přednáška je rozdělena do čtyř částí. Po úvodu jsou ve druhé části shrnuty základní poznatky o využití této zkoušky v oblasti výzkumu ocelí. Třetí část se zabývá hodnocením tranzitního chování tvárné litiny. Poslední, čtvrtá část je věnována studiu tranzitního chování plastů, tedy oblasti kterou bychom se chtěli zabývat v nejbližší budoucnosti.

## 2 OCELI

### 2.1 Hodnocení houževnatosti ocelí

Současná harmonizace naší právní legislativy s legislativou Evropské unie se promítá i do oblasti technických norem. Naše původní normy jsou postupně nahrazovány Evropskými standardy (EN). Využijme probíhající harmonizaci technických standardů k zamýšlení nad současnou úlohou zkoušky rázem v ohybu.

Standard ČSN EN 10 045 – *Kovové materiály zkouška rázem v ohybu podle Charpyho* – se zabývá metodikou měření materiálové charakteristiky, nárazové práce *KV* (příp. *KU*), což je v podstavě práce potřebná k porušení zkušebního tělesa daného tvaru a rozměrů kyvadlovým kladivem. Dříve používaný termín „vrubová houževnatost“ je českou národní výjimkou a používá se pouze v našich materiálových listech. Podle normy stanovená hodnota nárazové práce se používá k hodnocení jedné ze základních mechanických vlastností ocelí - houževnatosti.

Evropská normalizace převzala systém mezinárodních norem ISO a zavedla obecné značky ocelí. Původně bylo toto evropské značení pro konstrukční svařitelné oceli totožné s normou ISO 630 a příslušné značení se dostalo i do našich materiálových listů. V těchto normách vystupují tzv. jakostní stupně – 0, B, C, D, DD a 2 – jež vedle svařitelnosti vyjadřují i zaručené hodnoty nárazové práce a to určitou hodnotou *KV* při určité teplotě. Současná norma ČSN EN 10 027-1 *Značky vytvořené na základě použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností* je mnohem propracovanější a má širší použití. Pro konstrukční oceli na konstrukce, potrubí a tlakové nádoby je opět ve značce zahrnuta jedna hodnota nárazové práce, případně teplotní závislost této veličiny. Tedy lze říci, že pro značení ocelí i hodnocení jejich jakosti je houževnatost hodnocena zkouškou rázem v ohybu. Podrobnosti o počtu zkušebních těles, způsobu hodnocení získaných výsledků i číselná hodnota *KV*, která má být zaručena výrobcem materiálu je dána v tzv. technických dodacích podmínkách každé skupiny konstrukčních ocelí.

Evropské standardy na jejichž základě se posuzuje bezpečnost ocelových konstrukcí jsou v současné době ve stádiu ověřování návrhů. Ukažme si na příkladech dvou takových návrhů – předpis pro tlakové nádoby a předpis pro ocelové mosty – jak jsou v nich specifikovány požadavky na houževnatost oceli.

V roce 2002 by měla být naše ČSN 69 001-3.1, obsahující požadavky na výběr materiálu pro tlakové nádoby, nahrazena normou EN 13445 *Unfired pressure vessels – Parts 2: Materials*. V této normě jsou uvedeny tři metody stanovení požadavků na nárazovou práci s cílem zabránit křehkému lomu tlakové nádoby při nízké teplotě. Prvá metoda shrnuje technické požadavky získané na základě provozních zkušeností; druhá metoda jsou technické požadavky založené na lomové mechanice a provozních zkušenostech- v normě jsou uvedeny nomogramy, zpracované na základě lomové mechaniky, ze kterých je možné odečíst požadavek na houževnatost oceli (hodnotu *KV* při určité teplotě) určené k výrobě nádoby jež má pracovat za určitých podmínek; třetí metoda používá lomovou mechaniku a její konkrétní použití je specifikováno odvolávkou na standard BS7910 – *Guidance methods for assessing the acceptability of the flaws in metallic structures*. Použití Standardu BS je pravděpodobně omezené na dobu, než bude vydán příslušný Evropský standard [SINTAP]. V tomto návrhu figuruje myšlenka tzv. „Master“ křivky, která je také zakomponována do návrhu evropské

normy ENV – EUROCODE 3: *Design of steel structures, Part 2: Steel Bridges 1993-2 Draft* – v níž je prezentován moderní přístup umožňující posoudit odolnost svařované ocelové konstrukce proti porušení křehkým lomem. K výpočtu bezpečnosti konstrukce se používá lomová mechanika a výsledkem je hodnota  $K_{mat}$ , která představuje požadovanou hodnotu lomové houževnatosti materiálu. Jinak řečeno pro konstrukci musíme použít materiál, který při uvažované provozní teplotě má hodnotu lomové houževnatosti  $K_{JC} \geq K_{mat}$ . K nalezení oceli o požadované hodnotě lomové houževnatosti slouží tzv. „Master“ křivka (MK). Princip MK je založen na myšlence, která byla poprvé použita v předpisu ASME code nazvaném „průvodce pro návrh a provoz jaderných reaktorů“. Předpokládá se, že průběh teplotní závislosti lomové houževnatosti konstrukčních ocelí je co do tvaru u všech ocelí stejný, vliv materiálu se projeví pouze posuvem této závislosti na ose teplot. Teplotní závislost středních hodnot lomové houževnatosti konstrukčních ocelí určená na tělesech tloušťky 25 mm je možné vyjádřit jedinou funkcí, která má tvar:

$$K_{JC}^{střední} = A + B \exp[C(t - t_0)],$$

kde  $t$  je teplota a  $t_0$  je referenční teplota, která vyjadřuje polohu této křivky na ose teplot. Jedná se o charakteristiku materiálu vyjádřenou teplotou, při které daný materiál vykazuje určitou střední hodnotu  $K_{JC}^{střední}$ . V současné době se nejvíce v odborné literatuře rozebírá a ověřuje vztah navržený Wallinem, který je i v citovaném návrhu ENV pro mostní konstrukce a má tvar:

$$K_{JC}^{střední} = 30 + 70 \exp[0,019(t - t_0)]. \quad [MPa.m^{1/2}, ^\circ C]$$

Číselné konstanty v této rovnici jsou zvoleny tak, že při teplotě  $t = t_0$  je hodnota  $K_{JC}^{střední} = 100 MPa.m^{1/2}$ . (V literatuře je použito pro označení této křivky názvu „Fracture toughness master curve“ – v češtině je nejpřiléhavější termín „základní křivka lomové houževnatosti“; dále poznamenejme, že výraz pro master křivku je složitější. V textu uvedený vztah platí pro 50% pravděpodobnost porušení, což se zpravidla používá v případech rozboru havárie, kdežto v případě konstrukčního návrhu se používá pravděpodobnost porušení rovná nebo menší než 10%. Kromě členu, jež zahrnuje pravděpodobnost porušení je ve vztahu pro MK ještě zahrnuta skutečnost, že křivka platí pro tloušťku 25 mm a reálná konstrukce má tloušťku jinou. Z důvodů zjednodušení výkladu jsme použili pouze ten člen, který má vztah k volbě materiálu).

Použití MK je následující. Jak již bylo řečeno, na základě výpočtu založeného na lomové mechanice se stanoví požadovaná hodnota lomové houževnatosti  $K_{mat}$  pro nejnižší provozní teplotu  $t_p$ . Po dosazení hodnoty  $K_{mat}$  do MK vypočteme hodnotu  $\Delta t = t - t_0$ . Tedy konstrukce bude bezpečná z hlediska křehkého lomu, bude-li zhotovena z materiálu, jehož referenční teplota  $t_0$  je rovna  $t_p - \Delta t$ . Měření lomové houževnatosti a s tím spojené stanovení teploty  $t_0$  je finančně nákladné. Výrobci ocelí dodávají materiál na základě technických dodacích podmínek, v nichž je houževnatost zaručena hodnotou nárazové práce. Pouze u velice drahých a unikátních konstrukcí, jako ke např. tlaková nádoba jaderného reaktoru, se měří lomová houževnatost použitého materiálu (například standard ASTM E 1921) a predikuje se vliv provozních podmínek na tuto veličinu. Pro masově vyráběné konstrukce, jako jsou např. výše uvedené mosty, ale i technika povrchových dolů by určování lomové houževnatosti bylo velice drahé. Proto se hledají korelační vztahy mezi teplotou  $t_0$  ( $K_{JC} = 100 MPa.m^{1/2}$ ) a některou z tranzitních teplot uváděnou v technických dodacích podmínkách např.  $t_{28J}$  (teplota, při níž je nárazová práce  $KV = 28 J$ ). V uvedeném návrhu ENV pro mostní konstrukce je uveden vztah:

$$t_0 = 1,0t_{28J} - 18 . \quad [^\circ C]$$

Vztah představuje střední hodnotu se standardní odchylkou  $\pm 13^\circ C$ .

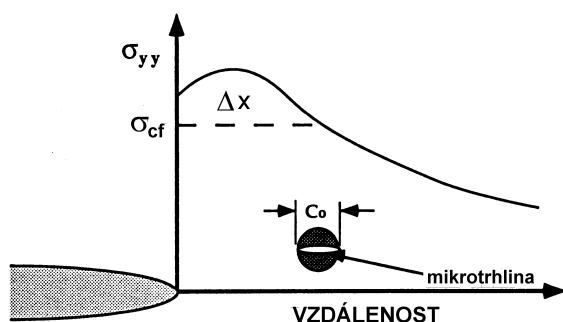
Příklady návrhů EN dokladují, že téměř padesátiletý vývoj lomové mechaniky zdokonalil filozofii návrhu bezpečné konstrukce z hlediska křehkého lomu založeného na myšlence zabránit iniciaci lomu. Do výzkumu studia podstaty lomového chování materiálu také významně zasáhla, jak je výše uvedeno, lomová mechanika a to zavedením nové materiálové charakteristiky – *lomové houževnatosti*. Vznikla řada studií, které se zabývají studiem vlivu externích podmínek (vliv teploty, rychlosti zatěžování i „constraintu“) i interních podmínek (makro a zvláště mikrostruktury materiálu) na hodnotu lomové houževnatosti. Hledají se korelační vztahy mezi různými tranzitními teplotami ( $t_{28J}$ ,  $t_{50\%}$ ,  $t_{NDT}$ ) a lomovou houževnatostí. Bez tohoto výzkumu by nemohly vzniknout nové „mandatorní“ (podporující dodržení určitého legislativního předpisu Evropské unie např. o bezpečnosti z hlediska porušení) evropské normy. Výklad principů těchto norem by měl být náplní vysokoškolského studia a bez praktických zkušeností přednášejícího a určitého laboratorního zázemí má tato výuka malou naději na úspěch.

## 2.2 Štěpný lom konstrukčních ocelí

Poslední vydání encyklopedie „Nauka o materiálu“ prof. Píška v šedesátých letech minulého století pod pojmem křehký lom prezentuje Cottrellovu teorii vzniku zárodku štěpné mikrotrhliny a jako makrocharakteristiku odolnosti ocelí proti křehkému lomu uvádí tranzitní teplotu. Koncem šedesátých let v ÚFM AV ČR v Brně vzniká skupina “křehký lom“ vedená doc. M. Holzmannem. Na práci této skupiny jsem se podílel. Po vybavení laboratoře na tehdejší dobu unikátním elektronickým univerzálním zkušebním strojem a kryostaty, jež umožnily tahové a ohybové zkoušky za kryogenních teplot, zde začal systematický výzkum křehkolomového chování ocelí.

Jednou z prvních prací bylo studium tranzitního lomového chování modelové tvářené nízkouhlíkové oceli při tahových zkouškách hladkých zkušebních těles prováděných při nízkých teplotách. V závislosti na poklesu teploty dochází k růstu meze kluzu. Při dostatečně nízké teplotě se změní charakter porušení – tvárný lom se mění na štěpný – a dostáváme začátek tranzitní oblasti charakterizovaný teplotou  $t_D$ . Tak se ukázalo, že k tranzitnímu lomovému chování dochází i u hladkých těles, i když za velice nízkých teplot. Pokles teploty v tranzitní oblasti je spojen s poklesem tažnosti a současně s poklesem lomového napětí až do teploty, při níž štěpný lom nastává při napětí dolní meze kluzu. Tato teplota byla označena jako teplota křehkosti  $t_B$ . V oblasti pod teplotou  $t_B$  dochází ke křehkým lomům; v závislosti na poklesu teploty zde lomové napětí roste tak, jak roste mez kluzu s klesající teplotou. Ukázaly se dvě zajímavé skutečnosti

- ke štěpnému lomu nikdy nedošlo v oblasti elastických deformací;
- hodnota lomového napětí při teplotě  $t_B$  je o více než řád menší, než je teoretická hodnota kohezivní pevnosti – napětí nutného ke štěpení v krystalografických rovinách.



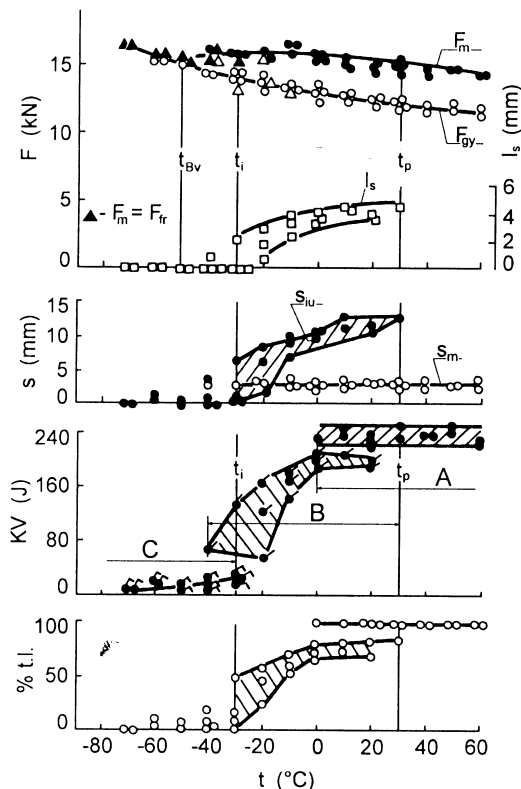
Obr. 1

To však znamená, že ke štěpnému lomu oceli dochází při jisté hodnotě tahového napětí ( $\sigma_{cf}$ ), které je schopné v dané struktuře vyvolat nestabilní šíření štěpné trhliny, jejíž iniciace je podmíněna plastickou deformací. Tak vznikla teorie, podle které odolnost struktury oceli vůči štěpnému porušení je dána strukturně závislou hodnotou  $\sigma_{cf}$  – kritického lomového napětí. Hodnota  $\sigma_{cf}$  je nezávislá na teplotě a rychlosti zatěžování a kontroluje společně s mezí kluzu, jak tranzitní teploty, tak i lomovou houževnatost materiálu. První model založený na těchto



předpokladech a dávající do vzájemné souvislosti  $\sigma_{cf}$  a lomovou houževnatost předložili Ritchie, Knott a Rice (RKR) začátkem sedmdesátých let [R. O. Ritchie, J.F. Knott, J. R. Rice: On the Relationship between Critical Tensile Stress and Fracture Toughness in Mild Steel; Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 21 (1973), 395]. Model RKR je založen na postulátu, že ke štěpnému lomu dojde, když napětí kolmé na trhlinu  $\sigma_{yy}$  v plastické zóně před čelem trhliny dosáhne, na kritické vzdálenosti  $\Delta x$ , hodnotu  $\sigma_{yy} > \sigma_{cf}$  (obr.1). Původně se předpokládalo, že vzdálenost  $\Delta x$  odpovídá průměru několika feritických zrn. Curry a Knott [D. A. Curry, J. F. Knott: Effects of Microstructure on Cleavage Fracture Toughness in Mild Steel; Metal Science (1978), 511] rozšířili model RKR o představu, že kritická vzdálenost  $\Delta x$  je statistické povahy. Při tahové zkoušce hladké zkušební tyče dochází ke štěpnému lomu za velmi nízké teploty při napětí  $\sigma_{cf}$ , jež je právě rovné mezi kluzu a tedy plasticky deformovaný objem je dostatečně velký k tomu, aby se v něm našlo místo schopné nukleovat štěpnou mikrotrhlinu. Před čelem trhliny je plasticky deformovaný objem zatížený napětím  $\sigma_{yy} > \sigma_{cf}$  velice malý a proto lom nastane až při zatížení, při kterém tento objem dosáhne velikosti, v němž bude přítomno místo schopné nukleovat štěpnou trhlinu. Kritická velikost objemu je ve vztahu ke vzdálenosti  $\Delta x$  a závisí na střední vzdálenosti míst schopných nukleovat štěpnou trhlinu. Tudíž je zde další parametr, který závisí na struktuře oceli, vysvětluje poměrně velký rozptyl lomové houževnatosti svařitelných ocelí a opět je nutné zkoumat, zda jeho velikost závisí, či nezávisí na podmínkách zatěžování. Uvedené dva modely vytvořily základ současného výzkumu lomové houževnatosti ocelí označovaný jako lokální přístup.

U nízkouhlíkových a nízkolegovaných je možné na základě současných standardů stanovit



Obr. 2

vyrobeným v Lipsku. Piezoelektrický snímač síly byl u tohoto kladiva umístěn v oporách,

platné hodnoty lomové houževnatosti  $K_{IC}$  za teplot kolem  $-100^{\circ}\text{C}$ . V reálných konstrukcích ke štěpnému lomu dochází při teplotách mnohem vyšších. Skutečným podmínkám zatěžování některých svařovaných konstrukcí mnohem lépe odpovídá rázové zatěžování, které nastává při Charpyho zkoušce rázem v ohybu. Vezmeme-li v úvahu, že pro hodnocení jak metalurgických a technologických postupů, tak i pro hodnocení odolnosti ocelí proti křehkému lomu, degradačních procesů se užívá zkouška rázem v ohybu, hledala se cesta jak rozšířit možnosti této zkoušky. K významnému rozšíření možností této zkoušky, a to zejména v oblasti výzkumu, přispěla instrumentace. Instrumentací rozumíme vybavení kyvadlového kladiva zařízením jež umožňuje zaznamenávat závislost síla - čas vzorku, případně síla - přemístění (průhyb) vzorku během rázu.

### 2.2.1 Instrumentovaná zkouška rázem v ohybu

Laboratoř zabývající se křehkým lomu v ÚFM byla v šedesátých letech vybavena instrumentovaným rázovým kladivem

snímač přemístění byl optoelektrický. Ukázalo se, že vlastní frekvence tohoto snímače je příliš nízká a znemožňuje přesný odečet síly během rázu. Proto na základě jak vlastních zkušeností, tak i na základě poznatků uvedených v literatuře byla vyvinuta vlastní instrumentace. Podrobný popis instrumentace a možnosti použití jsou např. v práci [B.Vlach, M. Holzmann, J. Man: Použití instrumentovaného rázového kladiva pro hodnocení plastických a lomových vlastností ocelí, *Zváranie* 30 (1981), 257]. Ukažme si zde alespoň několik významných aplikací této zkoušky při výzkumu tranzitního lomového chování konstrukčních ocelí.

Pro ilustraci je na obr.2 ukázáno zpracování tranzitní oblasti oceli typu 1CrMo 9-10 (15 313) jak na základě veličin ( $KV$ ,  $\%tl$ , rozšíření  $s$ ) měřených na standardním rázovém kladivu, tak i hodnot charakteristických sil ( $F_{GY}$ ,  $F_m$ ,  $F_{fr}$ ) stanovených na instrumentovaném rázovém kladivu a to při použití zkušebních těles s V-vrubem. Pro studium lomového chování ocelí jsou významné znalosti teplotních závislostí veličin označených jako  $F_{GY}$  – mez makroplastických deformací,  $F_m$  – maximální síla a  $F_{fr}$  - lomová síla.

### *Dynamická mez kluzu*

Základní předpoklad modelu RKR a řady podobných modelů je nezávislost jak kritického lomového napětí ( $\sigma_{cf}$ ), tak i velikosti procesní zóny ( $\Delta x$ ) na teplotě ( $T$ ) a rychlosti zatěžování ( $\dot{\epsilon}$ ). To však znamená, že hodnota lomové houževnatosti, která závisí na

$$K_{IC} = F \{ R_e(\dot{\epsilon}, T), \sigma_{cf}, \Delta x, n \},$$

je z hlediska vlivu teploty a rychlosti zatěžování jednoznačnou funkcí meze kluzu a případně  $n$  – exponentu deformačního zpevnění. Protože  $n$  se příliš s teplotou i rychlostí zatěžování nemění, je nutné určit závislost  $R_e = F(\dot{\epsilon})$ . V případě dynamického zatěžování při zkoušce rázem v ohybu je třeba určit hodnotu meze kluzu. Teoreticky byl odvozen mezi  $F_{GY}$  a mezi kluzu Serverem [Server W. L.: Transaction ASME, J. Eng. Mater. Technology, (1978), 183] a to ve tvaru:

$$F_{GY} = k \cdot R_e,$$

kde  $k$  je číselná konstanta, která nezávisí ani na materiálu, ani na podmínkách zatěžování ( $T$ ,  $\dot{\epsilon}$ ). Podle Servera hodnota  $k = 21,5 \text{ mm}^2$ , na základě našich experimentálních zkušeností (měřeno v širokém rozmezí teplot a rychlostí zatěžování - Holzmann M., Vlach B., Man J.: The Influence of Loading Rate on the Ductile-Brittle Transition, " ECF6 Fracture Control of Engineering Structures ", Vol. III p.1705 Editors H.C.van Elst, A. Bakker, Amsterdam 1986))  $k = (21 \pm 1) \text{ mm}^2$  [v případě, že síla je v N a mez kluzu v MPa]. Z databáze třiceti materiálů, pro které jsme stanovili mez kluzu při statickém zatěžování a při rázovém zatěžování v širokém rozmezí teplot jsme se pokusili sestavit obecný vztah pro predikci vlivu jak teploty, tak i rychlosti zatěžování. [Vlach B., Holzmann M., Man J.: Predikce vlivu teploty a rychlosti zatěžování na mez kluzu konstrukčních ocelí, *Kovové materiály* 24 (1986), 654]

### *Kritické lomové napětí*

V případě tělesa s V-vrubem zatíženého silou  $F_{GY}$  působí v plastické zóně pod vrubem tahové napětí, které je dáno vztahem

$$(\sigma_{yy})^{max} = k_{\sigma_{pl}}^{max} R_e,$$

kde  $k_{\sigma_{pl}}$  je plastický součinitel koncentrace napětí v plastické zóně při síle  $F_{GY}$ . Pro těleso s V-vrubem používané pro zkoušku rázem v ohybu má tento součinitel hodnotu 2,2 [Odette G.R., Lombrozo P. M., Wullaert R.A.: Relationship between Irradiation Hardening and Embrittlement of Pressure Vessel Steels; In : Effects of Radiation on Material, Twelfth Intern. Symp. ASTM STP 870, vol II, Philadelphia (1986), 840]. Za předpokladu, že plastická

zóna pod vrubem při síle  $F_{GY}$  je dostatečně velká ve srovnání s  $\Delta x$ , potom v okamžiku koincidence hodnot  $F_{GY}$  a  $F_{fr}$  na ose teplot (viz teplota  $t_{BV}$  v obr.2) je možné napětí  $(\sigma_{yy})^{\max}$  ztotožnit s kritickým lomovým napětím  $\sigma_{cf}$ .

Na základě této představy bylo možné ověřovat nezávislost kritického lomového napětí na teplotě. Podíleli jsme se jako jediná východoevropská laboratoř v osmdesátých letech v rámci EGF (European Group of Fracture) na kruhovém testu měření kritického lomového napětí nízkouhlíkové oceli typu C20. Nezávislost kritického lomového napětí nízkolegované oceli 1CrMo 9-10 (15 313) v širokém rozmezí teplot (-180 až -80)°C jsme prezentovali na konferenci ECF6 v roce 1986.

Při studiu podstaty štěpného porušení i při výkladu tranzitního lomového chování ocelí hrála významnou roli právě instrumentovaná zkouška rázem v ohybu (k její standardizaci u nás došlo v loňském roce a má označení ČSN EN ISO 14556). Vedle výsledků získaných v oblasti výzkumu byla tato metodika využita k řešení řady konkrétních praktických problémů:

- vývoj jemnozrnných konstrukčních svařitelných ocelí ve spolupráci s VUHŽ Dobruška;
- hodnocení křehkolomového chování oceli 1CrMo 9-10 (15 313) na výrobu tlakové nádoby pro petrochemický podnik Slovnaft vyráběné v KPS Brno a predikce zkřehnutí této oceli během dlouhodobého provozu;
- návrh metodiky hodnocení radiačního zkřehnutí během provozu tlakové nádoby jaderného reaktoru typu VVR 1000.

Praktický význam postupně začala instrumentovaná rázová zkouška nabývat s rozvojem metodiky měření dynamické lomové houževnatosti.

### 2.2.2 Dynamická lomová houževnatost

Z velkých svařovaných konstrukcí jsou to snad jen tlakové nádoby, u kterých rychlost zatěžování odpovídá standardnímu zatěžování, pro které se měří lomová houževnatost  $K_{IC}$ ,  $K_{JC}$  ( $\dot{K} = (1 \approx 10) \text{ MPam}^{1/2}\text{s}^{-1}$ ). Většina konstrukcí, konstrukčních uzlů i strojních dílců je za provozu namáhána škálou rychlostí zatěžování až po zatěžování dynamické ( $\dot{K} \approx 10^5 \text{ MPam}^{1/2}\text{s}^{-1}$ ). V případě, že se v těchto zařízeních, při výrobě nebo během provozu, vyskytne defekt, pak je vhodné posoudit integritu konstrukce pomocí metod lomové mechaniky. Pro dynamické podmínky zatěžování se v těchto případech používá jako materiálová charakteristika  $K_{Id}$  - dynamická lomová houževnatost.

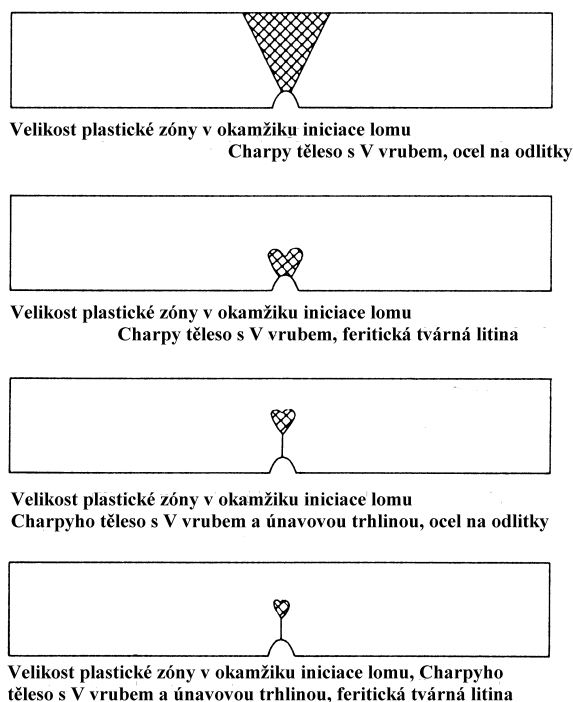
Při studiu podstaty štěpného lomu ocelí na ocelové konstrukce měla a má tato zkouška význam v tom, že je možné na základě srovnání teplotních závislostí  $K_{IC}$  a  $K_{Id}$  studovat vliv rychlosti zatěžování na lomovou houževnatost.

K měření dynamické lomové houževnatosti se zpravidla využívá instrumentovaného rázového kladiva doplněného zařízením pro spouštění kyvadla z různé výšky, což umožňuje měnit hodnotu nárazové rychlosti z původních  $5,5 \text{ ms}^{-1}$  na hodnotu  $(0,5 \text{ až } 1,5) \text{ ms}^{-1}$ , což je nutné pro správné určení síly v okamžiku lomu – rázové efekty. Podrobný popis metodiky měření  $K_{Id}$  jsme publikovali naposledy v roce 1987 a je identický s posledním návrhem ESIS (Proposed standard methods for instrumented pre-cracked Charpy impact testing of steels, Draft 12, September 2000) v té části, která se zabývá měřením  $K_{Id}$  při dopadové rychlosti do  $1 \text{ ms}^{-1}$ .

## 3 LITINA S KULIČKOVÝM GRAFITEM

Druhým konstrukčním materiálem, který vykazuje tranzitní lomové chování je feritická tvárná litina s kuličkovým grafitem (LKG). Z tohoto materiálu se v současné době vyrábí jak malé odlitky o hmotnosti několika kilogramů, tak i odlitky o hmotnosti až 200 tun. Zvláště u hmotných odlitků s velkou tloušťkou stěny (např. rámy obřích lisů, nebo přepravní kontejnery na vyhořelé radioaktivní palivo) je třeba zajistit přijatelnou houževnatost

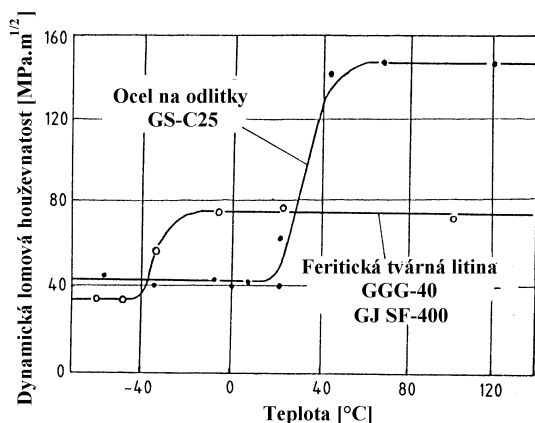
materiálu, protože porušení těchto odlitků by mohlo mít za následek ať již velké ekonomické ztráty, nebo ekologickou katastrofu).



Obr. 3

mnohem větší u oceli na odlitky ve srovnání s LKG, kdežto v případě ostré trhliny jsou plastické zóny obou materiálů prakticky srovnatelné. Toto zjištění dokládá, že u těles s únavovou trhlinou vyrobených z oceli na odlitky a LKG dochází k iniciaci lomu za podmínek podobné napjatosti a tedy rozdíly v energii potřebné k iniciaci lomu budou lépe vystihovat houževnatost srovnávaných materiálů. To je jedním z důvodů, proč se houževnatost LKG hodnotí spíše na základě dynamické lomové houževnatosti na instrumentovaném rázovém kladivu, než nárazovou prací těles s V-vrubem.

### 3.1 Dynamická lomová houževnatost LKG



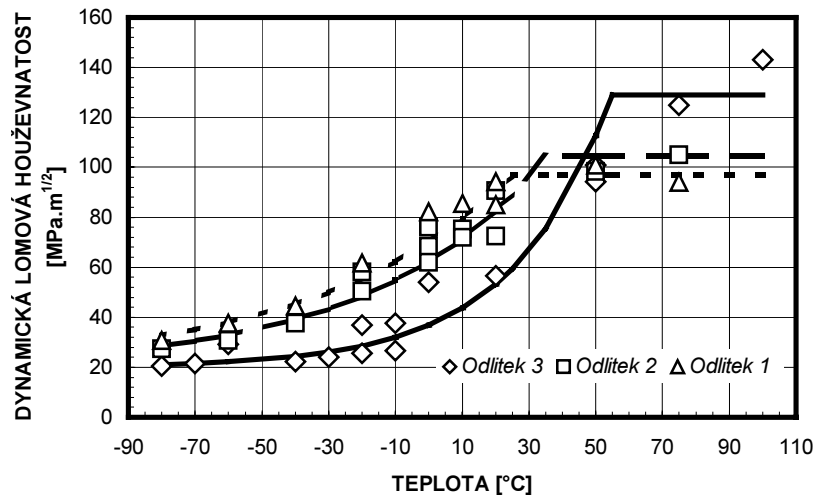
Obr. 4

tloušťce ( 1 – [15 ~18]mm; 2 – [35 ~40]mm 3 – [400 ~600]mm). Tloušťka odlitku ovlivňuje úroveň houževnatosti a to v závislosti na mechanismu porušování. V tranzitní oblasti

Srovnání houževnatosti LKG na základě nárazové práce  $KV$  s ocelí na odlitky je poměrně obtížné. Ocel na odlitky (GS-C25), která má prakticky stejné pevnostní charakteristiky jako LKG (GJ SF-400) má hodnotu  $KV^{max} \cong 100$  Joule (nárazová práce v oblasti horních prahových hodnot – tvárný lom), kdežto LKG má hodnotu  $KV^{max}$  nejméně pětkrát menší. Vysvětlení této zdánlivé anomálie je uvedeno v práci [W.L. Bradley, Srinivasan M.N.: Fracture and fracture toughness of cast irons, International Materials Reviews 1990 Vol.35 No. 3] odkud je převzat i obr. 3. Na základě měření mikrotvrdosti jsou v obrázku vyznačeny velikosti plastické zóny v okamžiku iniciace lomu oceli na odlitky a LKG a to jak pro zkušební tělesa s V-vrubem, tak i pro zkušební tělesa s V-vrubem v jejichž kořeni je nacyklována únavová trhlinka. Z obrázku je vidět, že v případě těles s vrubem je plastická zóna

Na obr. 4 jsou vyneseny průběhy teplotních závislostí dynamické lomové houževnatosti  $K_{Id}$  oceli na odlitky a LKG jež mají srovnatelné pevnostní charakteristiky. V oblasti horních prahových hodnot je podíl hodnot dynamické lomové houževnatosti ocel/LKG  $\cong 1,8$  a tudíž zde již není tak významný rozdíl, jako v případě nárazové práce. Z hlediska odolnosti vůči nežádoucímu – štěpnému lomu má litina větší odolnost ve srovnání s ocelí. Tuto skutečnost dokazuje nižší tranzitní teplota LKG (asi o 40°C) ve srovnání s ocelí.

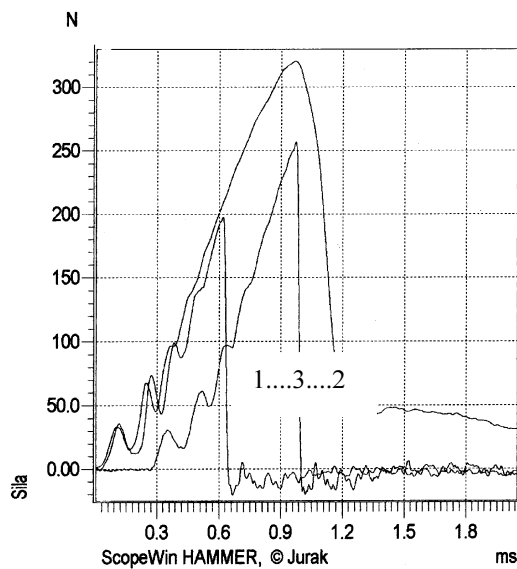
Na obr. 5 jsou uvedeny teplotní závislosti dynamické lomové houževnatosti LKG zjištěné na tělesech odebraných ze tří odlitků o různé



Obr. 5

s rostoucí tloušťkou stěny odlitku hodnoty dynamická lomová houževnatost klesá. Tloušťka odlitku je jednoznačně spojena s velikostí feritického zrna a tedy v případě iniciace štěpného lomu houževnatost klesá s rostoucí velikostí feritického zrna podobně jako u nízkouhlíkových ocelí. V oblasti horních prahových hodnot hodnoty dynamické lomové houževnatosti s rostoucí tloušťkou rostou. Zde dochází k iniciaci lomu tvárným mechanismem a tedy houževnatost je ovlivněna vzdáleností mezi částicemi grafitu, která s rostoucí tloušťkou odlitku roste.

#### 4 PLASTY



Obr. 6

těchto záznamů, podobně jako u kovů, je možné hodnotit charakteristické hodnoty síly, případně energie. I pro plasty jsou již zpracovány v rámci ESIS [ESIS publication 28; Fracture mechanics testing methods for polymers adhesives and composites, edits. D.R.

Třetí skupinou materiálů, které vykazují tranzitní lomové chování jsou termoplasty, které mají teplotu skelného přechodu v blízkosti normální teploty. Studium lomového chování plastů nemá na našem pracovišti dlouhou tradici. Právě instrumentované rázové kladivo nám umožnilo úzkou spolupráci s Polymer Institutem v Brně (PIB) na výzkumu transformačního zhouževnatění isotaktického polypropylénu (iPP).

Instrumentovaná zkouška rázem v ohybu

Komerčně vyráběné typy iPP krystalizují v  $\alpha$ -fázi (která je monoklinická). Při použití vhodného nukleačního činidla byly připraveny v PIB materiály s odstupňovaným procentem nukleačním procentem  $\beta$ -fáze (jedná se o hexagonální fázi). Pro ilustraci jsou na obr. 6 uvedeny záznamy síla - čas z instrumentovaného rázového kladiva materiálů s 0,0% (1), 0,03% (2) a 0,13% (3)  $\beta$ -nukleačního činidla. Na základě

Moore, A. Pavan, J.G. Williams, Elsevier 2001] návrhy, jak z těchto záznamů vyhodnocovat dynamickou lomovou houževnatost. Podrobné studium příčiny zvýšení houževnatosti přidáním  $\beta$  - nukleačního činidla v jisté optimální koncentraci je prováděno v úzké spolupráci s prof. Sabine Seidler Vienna University of Technology a to v rámci doktorandského projektu za podpory projektu AKTION. Byly shromážděny experimentální důkazy, že k zhouževnatění iPP přispívá transformace fáze  $\beta$  na  $\alpha$ . Výsledky a jejich interpretace byly prezentovány na několika konferencích a přijaty k publikaci (Bohatý P., Vlach B., S. Seidler, Koch T. a E. Nezbedová: Phase transformation and the micromechanism of the failure process in  $\beta$ -iPP; přijato k publikaci v Journal of Macromolecular Science—Physics).

#### 4.1 Hodnocení odolnosti plastů vůči šíření nestabilního lomu a rázová zkouška

Rozměrné konstrukce z plastů, u nichž může být nebezpečné nestabilní (rychlé) šíření trhliny jsou plynová potrubí. V případě této konstrukce je nutné použít pro zabezpečení integrity filozofii zastavení trhliny – tj. materiálovou charakteristikou je tranzitní teplota nad níž nemůže dojít za daných podmínek k šíření nestabilního lomu.

Vývoj metod zkoušení plynárenských plastových trubek, které by umožnily zavedení standardů, na jejichž základě by bylo možné charakterizovat odolnost materiálu vůči nestabilnímu lomu probíhal v řadě vědeckých institucí za podpory plynárenských společností v Anglii, Belgii a Francii. Během 25 let diskuse ve společnosti ISO byly zavedeny dva standardy:

- ISO 13477 (v USA ASTM/F 1589) pod názvem S4 (Small Scale Steady State Test)
- ISO 13478 Full Scale Test. Byl zaveden na základě dlouhodobých zkušeností s ocelovými trubkami a pokusy s termoplastovými trubkami v terénu.

S4 test byl zaveden v květnu 1994 jako provizorní ISO standard (ISO/DIS 13477: Thermoplastics pipes for the conveyance of fluids-Determination of the resistance to rapid crack propagation (RCP) - Small-scale steady-state test (S4 test) a byl zaveden jako standard ISO v r. 1997.

FST byl publikován jako ISO/DIS 13478 v květnu 1994 jako ISO standard zaveden v r. 1997 (ISO 13478)

U obou zkoušek se zpravidla při teplotě 0°C určuje kritická hodnota tlaku v trubce, jež způsobí při průrazu trubky rychlé, nestabilní šíření trhliny. Vzhledem k rozdílným podmínkám jednotlivých zkoušek byl komisí ISO TC 138 SC5 navržen následující vztah mezi kritickým tlakem získaným z FST ( $p_{c,FST}$ ) a kritickým tlakem získaným z S4 zkoušky ( $p_{c,S4}$ ):

$$\frac{p_{c,FST} + 1}{p_{c,S4} + 1} = 3.6$$

nebo

$$p_{c,FST} = 3.6 p_{c,S4} + 2.6 \text{ [bar]} \text{ a}$$

$$p_{c,FST} = s.MOP$$

$$= 1.5.MOP, \text{ kde}$$

s je koeficient bezpečnosti, MOP je maximální provozní tlak.

Můžeme tedy stanovit MOP dle vztahu:

$$MOP = 2.4. p_{c,S4} + 1.73.$$

Výše uvedené vztahy určují korekční faktor mezi S4 testem a FS testem a dovolují stanovit maximální provozní tlak pro daný typ polymeru.

Obě zkoušky jsou poměrně náročné, zkušební zařízení pro jejich provádění nejsou komerčně vyráběna a proto jsou tyto zkoušky pro řadu výrobců plastů nedostupné. Ze strany výrobců materiálu je vhodné kontrolu kvality materiálu, podobně jako v případě kovových materiálů, provádět jednoduchou, levnou a reprodukovatelnou zkouškou jakou je zkouška rázem v ohybu, případně instrumentovaná zkouška rázem v ohybu.

Český výrobce plastů Chemopetrol Litvínov inicioval zavedení S4 testu v Polymer Institute v Brně. Vzhledem k úzké spolupráci s tímto pracovištěm a tedy dostupností testu S4 bychom se rádi v budoucnu zabývali korelací výsledků S4 testu se zkouškami na instrumentovaném rázovém kladivu.

## 5 SHRNU TÍ

Houževnatost je vlastnost materiálu, která charakterizuje jeho odolnost proti porušení. Pro hodnocení houževnatosti ocelí zavedl před sto lety Charpy „zkoušku rázem v ohybu“. Široké uplatnění tato zkouška získala v průběhu a zvláště po druhé světové válce v souvislosti s haváriemi lodí Liberty. V této době vzniklo i materiálové kritérium – impact energy  $KV = 27$  Joule – podle kterého hodnotí výrobci houževnatost běžných svařitelných ocelí i v dnešní době. V šedesátých letech někteří, zvláště vědečtí pracovníci předpovídali zánik Charpyho rázové zkoušky.

Předpovědi se ukázaly klamné. Rozvoj elektroniky umožnil doplnění rázového kladiva snímači síly a prodloužení. Tak vzniklo instrumentované rázové kladivo, které umožňuje určit nejen nárazovou práci, ale i závislost síla ( $F$ ) – přemístění (displacement) ( $s$ ) během rázu.

V přednášce je rozebrán význam zkoušek na instrumentovaném rázovém kladivu, jejich využití při studiu deformačního a lomového chování konstrukčních materiálů. Ke zkouškám se používají zkušební tělesa opatřená vrubem nebo ostrou trhlinou.

Na příkladech je zde dokumentováno, že měřením závislosti ( $F$ ) – ( $s$ ) na tělesech s vruby lze získat nové poznatky o procesech porušování v průběhu rázu. Na základě tvaru získaných závislostí lze ( $F$ ) – ( $s$ ) definovat tranzitní teploty a příslušné oblasti porušení. U ocelí a litin je obzvláště důležitá metodika určení dynamické meze kluzu ze síly  $F_{GY}$ , případně stanovení kritického lomového napětí  $\sigma_{cf}$  z lomové síly  $F_{fr}$  při teplotě  $t_{GY}$  při níž  $F_{GY} = F_{fr}$ . Tyto charakteristiky se pak používají nejen v oblasti výzkumu, ale i při posuzování např. vlivu degradačních procesů na zkřehnutí.

Měřením závislosti ( $F$ ) – ( $s$ ) na tělesech s ostrou trhlinou se stanovuje dynamická lomová houževnatost. Hodnoty dynamické lomové houževnatosti umožňují posuzovat odolnost daného materiálu proti porušení za dynamických podmínek zatěžování. Znalost hodnot dynamické lomové houževnatosti je důležitá při vývoji nových konstrukčních materiálů, které vykazují tranzitní lomové chování a v dnešní době se tato metodika vyvíjí především pro polymery. U ocelí, případně litin je metodika měření dynamické lomové houževnatosti již zpracována ve formě návrhu evropské normy. U těchto materiálů je znalost dynamické lomové houževnatosti důležitá, jak pro volbu materiálu pro dané provozní podmínky, tak i pro posuzování bezpečnosti dynamicky namáhaných konstrukcí s defekty.

## 6 SUMMARY

### Toughness and Charpy test

Toughness is a material property that describes its fracture resistance. One hundred years ago, Frenchman Augustin Georges Charpy introduced the impact bending test as a method for assessing the toughness of steels. This method has gained a wide application due to the failures of the Liberty ships during and especially after World War II. A new criterion - impact energy  $KV = 27$  Joule – came into being at that time. It has been used up to now by producers of common weldable steels for the evaluation of toughness. In the sixties of last century some academic circles prognosticated the end of the Charpy impact test.

But the prediction has proved to be false. Progress in the field of electronics has made it possible to install force and displacement gauges on the impact pendulum and so the instrumented pendulum – impact testing machine was developed. This equipment makes it possible to assess not only the impact energy but also the force ( $F$ ) - displacement ( $s$ ) dependence during the test.

The significance of these tests and their application in the study of deformation and fracture behaviour of engineering materials is analysed in the present lecture. Notched or pre-cracked specimens are used in this test.

It is shown on a few examples that new information about the failure process during the test can be gained from force ( $F$ ) versus displacement ( $s$ ) measurements. The transition temperatures and respective failure regions can also be defined from the shape of the dependencies obtained. For steels and cast irons, a very important point is determining the dynamic yield point from the yield force ( $F_{GY}$ ) or estimating the critical fracture stress ( $\sigma_{cf}$ ) from the fracture force ( $F_{fr}$ ) at temperature  $t_{GY}$ , at which  $F_{GY} = F_{fr}$ . These values are used not only in research but also, for example, when assessing the effect of the degradation processes on toughness (brittleness).

The dynamic fracture toughness is established by the force ( $F$ ) versus displacement ( $s$ ) measurement on pre-cracked Charpy specimens. The values of dynamic fracture toughness can be used as a parameter that distinguishes one material from another as far as resistance to failure under dynamic loading conditions is concerned. The knowledge of the dynamic fracture toughness is important in the development of new engineering materials that exhibit transition fracture behaviour. Nowadays this procedure is applied with success to polymers. The method for measuring dynamic fracture toughness has been worked out as a draft European Standard for steels and cast irons. The knowledge of dynamic fracture toughness for these materials is very important for both the selection of a material for the given service conditions and assessment of the safety of dynamically loaded structures with defects.