

# POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ LOMOVÉ HOUŽEVNATOSTI ZÍSKANÝCH POMOCÍ STANDARDNÍCH A MINIATURIZOVANÝCH ZKUŠEBNÍCH TĚLES

## COMPARISON OF FRACTURE TOUGHNESS RESULTS OBTAINED BY USING STANDARD AND SUB-SIZED SPECIMENS

Eva Chvostová, Ján Džugan, Pavel Konopík a Martin Rund

COMTES FHT a.s., Dobřany

### Abstrakt

Hodnocení aktuálních mechanických vlastností materiálu je důležité zejména pro správný odhad zbytkové životnosti dané komponenty. V mnoha případech však standardní vzorky není možné použít kvůli požadavkům na velikost dostupného experimentálního materiálu nebo velikosti komponenty. Jednou z metod, kterou lze použít, je metoda, která se zaměřuje na použití miniaturizovaných zkušebních vzorků. V tomto článku jsou popsány a porovnány výsledky lomové houževnatosti získané pomocí standardních a miniaturizovaných zkušebních těles pro materiály 15CH2NMFA a AISI 304. Použití miniaturizovaného zkušebního vzorku přináší mnoho výhod, jako je snížení nákladů, možnost semidestruktivního odběru materiálu, úspora času.

### Abstract

The evaluation of the actual mechanical properties of the material is important especially for the correct estimation of the residual life of the component. In many cases, however, standard samples cannot be used due to the size requirements of the available experimental material or the size of the component. One of the methods that can be used is a method that focuses on the use of miniaturized test specimens. This paper describes and compares the fracture toughness results obtained with standard and miniaturized test specimens for 15CH2NMFA and AISI 304 materials. The use of a miniaturized test specimen brings many advantages, such as cost reduction, semi-destructive cutting off collection, time savings.

### Úvod

Vlastnosti lomové houževnatosti poskytují velmi důležité informace o chování materiálu, ve kterém jsou ostré trhliny. Tato informace je v mnoha případech rozhodující pro rozhodnutí o dalším použití nebo vyřazení komponenty z provozu. V mnoha případech je však překážkou nedostatek experimentálního materiálu, ale posouzení může být provedeno pomocí miniaturizovaného zkušebního tělesa. Příkladem, kdy je k dispozici pouze nedostatek experimentálního materiálu, je posouzení zbytkové životnosti komponentů v provozu, kdy lze získat experimentální materiál pouze semi-destruktivním přístupem, vývoj nových materiálů, nebo při vývoji nano-materiálů metodami extrémní deformace, vývoj speciálních mechanicko-tepelných zpracování pomocí fyzikálního simulátoru. V poslední době také pro hodnocení dílů vyrobených aditivními výrobními technikami. V článku je prezentováno použití miniaturizovaných zkušebních těles pro zkoušku lomové houževnatosti. Experimentální program byl proveden na Cr-Ni-Mo-V feriticko-martenzitické žáruvzdorné nízkolegované oceli značené GOST 15CH2NMFA a na austenitické oceli AISI 304 s vynikající korozivzdorností.

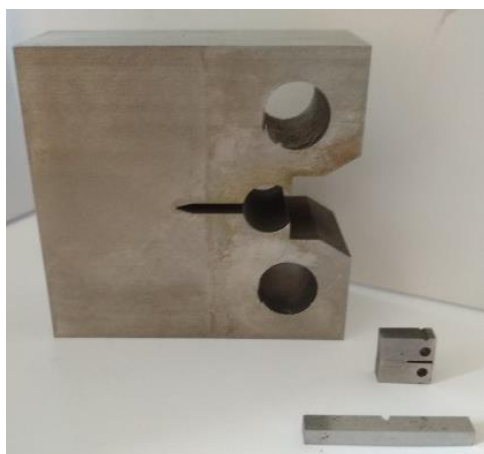
### Zkoušky lomové houževnatosti na standardních zkušebních tělesech

Zkoušky lomové houževnatosti standardních těles byly provedeny v souladu se standardem ASTM E 1820-17 [1]. Pro koncepci Master křivky bylo zkoušeno šest 1T-CT těles. Zkoušky spočívaly v přípravě zkušebních těles nakmitáním únavové trhliny na požadovanou délku na magneto-rezonančním zkušebním stroji Rumul Testronic. Finální nakmitaná délka trhliny je dána podílem  $a/W = 0,5$  a hodnotou faktoru intenzity napětí  $K_{final} = 16 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ . Následně

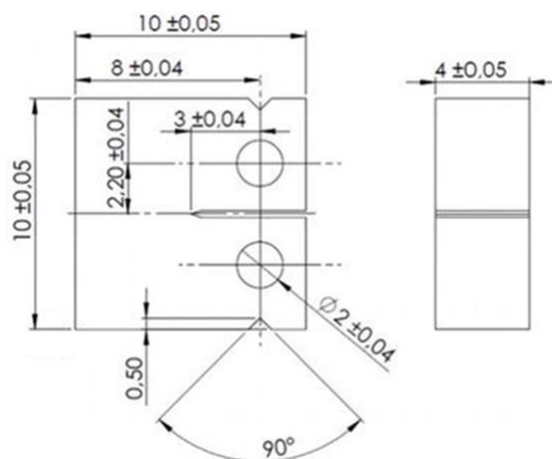
byly vzorky opatřeny bočními vruby. Po této přípravě následovala samotná procedura testování, která probíhala na servo-hydraulickém zkušebním stroji MTS 810. Rozevření vrubu vzorku bylo měřeno pomocí sponového COD extenzometru.

### Zkoušky lomové houževnatosti na miniaturizovaných tělesech

V poslední době je velká pozornost zaměřena na geometrii vzorků mini-CT (0,16T-CT), které lze vyrobit i z rozlomené poloviny standardního vzorku Charpy. V roce 2014 bylo provedeno mezilaboratorní porovnání zaměřené na ověření spolehlivosti experimentálních dat mini-CT. Výsledky testování potvrdily, že vzorky mini-CT nabízejí velmi atraktivní příležitost k odvození stejných referenčních teplotních hodnot lomové houževnatosti  $T_0$ , jako jsou hodnoty odvozené z větších vzorků lomové houževnatosti a vzorků Mini-Charpy (KLST). K testování byly vybrány tělesa mini Charpy a 0,16T CT. Zkoušky byly provedeny podle shodných zkušebních norem jako standardní tělesa. Všechna tělesa byla opět opatřena nakmitanou únavovou trhlinou a opatřeny bočními vruby. Zkoušky probíhaly na servo-hydraulickém zkušebním stroji Si-PLAN. Porovnání zkušebních těles je na obr. 1. Schéma zkušebního tělesa 0,16T CT je na obr. 2.



Obr. 1: Porovnání použitých zkušebních těles



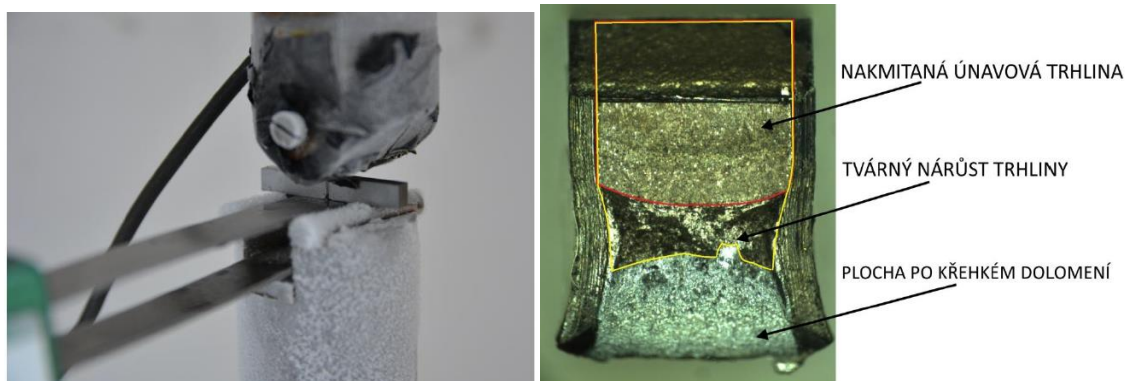
Obr. 2: Schéma tělesa 0,16T CT

### Porovnání výsledků materiálu 15CH

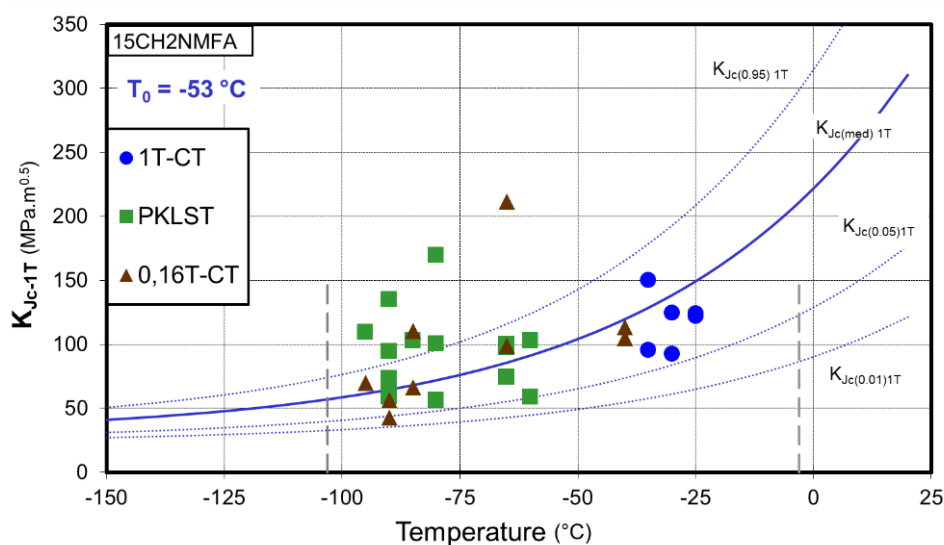
Pro stanovení referenční teploty bylo zkušeno celkem šest 1T-CT, devět 0,16T CT těles a třináct těles KLST. Zkoušky probíhaly za snížených teplot ve chladicí komoře s přívodem tekutého dusíku. V průběhu zkoušky byla měřena závislost síla – průhyb, průhyb vzorků byl během zkoušky měřen sponovým COD extenzometrem, viz obr. 3. Shrnutí stanovení referenční teploty  $T_0$  je uvedeno v tab. 1. Křivka se všemi naměřenými daty je znázorněna na obr. 4. Z tab. 1 je zřejmé, že hodnocená referenční teplota pomocí vzorků KLST a vzorků 0,16T-CT nespĺňuje kritéria platnosti  $\sum r_i n_i > 1$  a tyto referenční teploty lze považovat za prozatímní referenční teplotu  $T_{0Q}$ .

Tab. 1: Výsledky pro materiál 15CHNMFA

	Vzorek	Počet vzorků	$T_0$ °C	$r_i \cdot n_i$	Rozdíl $T_0$ °C
<b>Master křivka</b>	1T-CT	6	-41,3	1	-11,7
	0,16T-CT	9	-62,6	1,5	9,6
	KLST	14	-51,8	0,56	-1,2



Obr. 3: Vlevo uložení zkušebního tělesa a COD snímače, vpravo měření lomové plochy



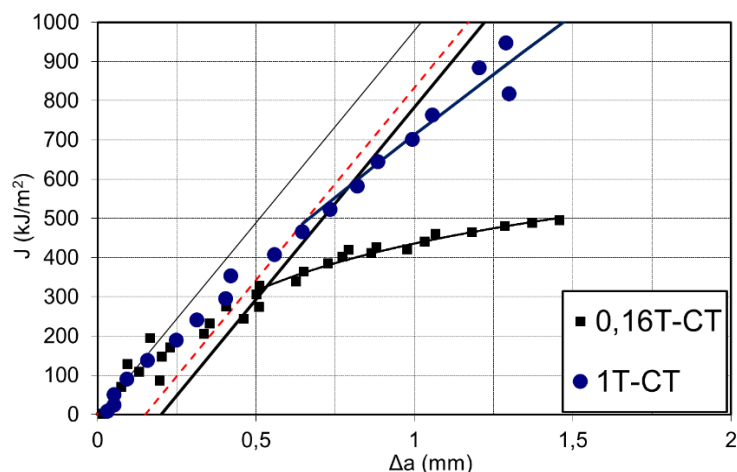
Obr. 4: Master křivka pro materiál 15CHNMFA

### Porovnání výsledků lomové houževnatosti oceli AISI 304

Pro stanovení lomové houževnatosti byla použita metoda J-R křivky a byla stanovena metodou více těles. Zkoušky proběhly za pokojové teploty. Následně byla jednotlivá tělesa podrobena žíhání pro zvýraznění délky trhliny, po něm ochlazena v tekutém dusíku a dolomena křehkým lomem. Tím se dosáhlo barevného odlišení tvárného růstu trhliny dosaženého během zkoušky od lomové plochy vzniklé dolomením po zkřehnutí vzorku. Následně byl tvárný růst trhliny opticky změřen a byla vyhodnocena hodnota lomové houževnatosti. Porovnání J-R křivek pro materiál AISI 304; geometrie vzorků, 0,16 T-CT vs. KLST je uvedeno v tab. 2 a na obr. 5.

Tab. 2: Výsledky pro materiál AISI 304

J-R křivka	Vzorek	Počet vzorků	J <sub>IC</sub>
			kJ/m <sup>2</sup>
	1T-CT	3	600
	0,16T-CT	7	345



Obr. 5: Porovnání J-R křivek pro materiál AISI 304; geometrie vzorků, 0,16 T-CT vs. 1T-CT

### Diskuze výsledků

Zde získané výsledky poukazují na skutečnost, že v současné době neexistuje dostupné obecné řešení pro popis velikosti efektu v přístupech stanovení lomové houževnatosti. Pro spolehlivé stanovení hodnoty „nezávislé na velikosti“ musí být zkoumán materiál a kvantifikován velikostní efekt. Zdá se, že posouzení založené na integrálu J má spíše omezenou hodnotu a musí být stanoven lepší popis pro hodnocení lomové houževnatosti nezávislé na velikosti v horním platu výsledků. Dolní přechodová oblast je dobře popsána přístupem Master křivky včetně efektů velikosti v hodnocení. Obecně se uvažuje, že ve všech případech není nutné získat hodnoty nezávislé na velikosti. Může se jednat například o posouzení vlastností složek o malé tloušťce stěny, kde obyčejný stav deformace ve skutečnosti nepřevládá. Typickými příklady materiálů vyrobených s malou tloušťkou stěny, které vykazují vysoký poměr anizotropie vlastností, jsou materiály a komponenty vyrobené aditivními výrobními procesy.

### Závěr

Jak je vidět v mnoha případech, nelze pro materiál dosáhnout hodnot nezávislých na skutečné velikosti, a proto jsou techniky malé velikosti jediným způsobem, jak charakterizovat vlastnosti. Tyto hodnoty se týkají pouze komponenty a uvažovaného procesu; jsou však poskytovány cenné informace umožňující návrh součástí a optimalizaci procesu. Techniky založené na miniaturizovaných zkušebních tělesech pro stanovení lomové houževnatosti byly zde ukázány jako nástroj poskytující hlubší vhled do chování materiálu při lomu a pro lepší porozumění chování materiálu v případech, kdy je k dispozici omezené množství experimentu.

### Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen pomocí projektu Posuzování provozuschopnosti zařízení s využitím miniaturních zkušebních těles TH 02020448, financovaný Technologickou agenturou České republiky.

### Literatura

- [1] ASTM (2017): *ASTM E 1820-17, Standard Test for Method Measurement of Fracture Toughness*. Standard, ASTM E 1820-17, ASTM International, West Conshohocken (PA).
- [2] Džugan, J., Procházka, R., Konopík, P. (2014): *Micro-Tensile Test Technique Development and Application to Mechanical Property Determination*. Small Specimen Test Techniques, 6th Volume, STP 1576, ASTM International, West Conshohocken (PA), pp. 12-30.